

**MONITOREO DEL TRANSFORMADOR EN SERVICIO, MEDIANTE LA
RESPUESTA EN FRECUENCIA HACIENDO USO DE LA PLATAFORMA
LABVIEW**

CHRISTIAN FABIAN GUERRERO CHAVES

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
SANTIAGO DE CALI**

2013

**MONITOREO DEL TRANSFORMADOR EN SERVICIO, MEDIANTE LA
RESPUESTA EN FRECUENCIA HACIENDO USO DE LA PLATAFORMA
LABVIEW**

CHRISTIAN FABIAN GUERRERO CHAVES

**Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO ELECTRICISTA**

DIRECTORES

GUILLERMO APONTE MAYOR

Ingeniero Electricista Ph.D.

EDUARDO GOMEZ LUNA

Ingeniero Electricista

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

SANTIAGO DE CALI

2013

Nota de aceptación

Jurado

Jurado

Ing. GUILLERMO APONTE MAYOR Ph.D.
Director del proyecto

Ing. EDUARDO GOMEZ LUNA
Director del proyecto

Santiago de Cali, Enero 26 de 2013.

Este Trabajo es dedicado a:

Dios por ser sabiduría y guía, por permitirme seguir un modelo de paz y felicidad, por brindarme la fortaleza suficiente para afrontar todos los obstáculos de la vida.

Mis Padres Olinto y Elizabeth; a ellos les debo todo lo que soy. Gracias por el cariño, atención, apoyo y las oportunidades que me han ofrecido durante mi vida. Por enseñarme a alcanzar mis metas bajo el alero de la honestidad, perseverancia la excelencia personal y profesional. Agradezco también al resto de mi familia por el infinito apoyo y cariño brindado.

Anita por ser un impulso frente a los obstáculos, por su cariño y los momentos de alegría a pesar de la distancia. Por enseñarme que “cuando uno quiere uno puede”.

A Toda mi Familia y amigos.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS por ser mi guía y fortaleza.

Al ingeniero Eduardo Gómez Luna, por su constante apoyo, como director amigo y compañero, permitiéndome poder aprender, crecer y formarme como persona y como profesional, gracias por la confianza ofrecida.

Al profesor Guillermo Aponte Mayor, por su asesoría y acompañamiento como director, brindándome su conocimiento y experiencia para el correcto desarrollo del presente proyecto.

Al personal del laboratorio de alta tensión GRALTA, quienes brindaron su apoyo en diferentes actividades.

A Juan David Mina Casaran, por su amabilidad y amistad, al contribuir directamente en el desarrollo de este proyecto, permitiéndome utilizar material de su propiedad.

A mis amigos y compañeros que constantemente me brindaban su apoyo, que fueron y serán un modelo de amistad, gracias a todos ellos por hacer de mi estadía en la universidad algo inolvidable.

A todos ellos mil gracias.

CONTENIDO

Pág.

1. Capítulo I.....	14
1. MONITOREO DEL TRANSFORMADOR EN SERVICIO, MEDIANTE EL ANALISIS DE RESPUESTA EN FRECUENCIA.....	14
1.1. INTRODUCCION.....	14
1.2. Método utilizado para llevar a cabo la prueba FRA on-line en transformadores	15
1.3. Monitoreo de ejecución On-Line mediante FRA usando instrumentación virtual.....	18
1.4. Monitoreo de ejecución On-Line y prueba de equipos eléctricos usando instrumentación virtual.....	20
1.5. Resumen	21
2. Capítulo II.....	22
2. DESCRIPCION DE LA PLATAFORMA LABVIEW PARA EL PROCESAMIENTO DE SEÑALES.	22
2.1. INTRODUCCION.....	22
2.2. Programación en LabVIEW	23
2.2.1. Panel Frontal	24
2.2.1.1. Paleta de Controles.....	25
2.2.1.2. Controles e indicadores.....	26
2.2.2. Diagrama de Bloques	27
2.2.2.1. Paleta de Funciones.....	28
2.2.3. Paleta de herramientas	30
2.2.4. Barra de herramientas de estado	30
2.2.5. Beneficios de la programación grafica en LabVIEW.....	31
2.2.5.1. Programación Grafica Intuitiva	31
2.2.5.2. Administración de alarmas y eventos.....	32
2.2.5.3. Combinando G con otros lenguajes	32

2.2.5.4.	Aplicaciones	33
2.3.	Resumen	34
3.	Capítulo III.....	36
3.	MONITOREO DE LA RESPUESTA EN FRECUENCIA CON EL TRANSFORMADOR EN SERVICIO USANDO LABVIEW	36
3.1.	INTRODUCCIÓN.....	36
3.2.	Hardware de Adquisición.....	36
3.2.1.	Tarjeta de Adquisición de Datos NI PCI-6115: (ver Figura 17)	40
3.2.2.	Tarjeta de Adquisición de Datos NI PCI-5105: (ver Figura 18)	40
3.3.	Procesamiento de Datos	41
3.4.	Descripción de Etapas desarrolladas en LabView.....	42
3.4.1.	Adquisición	42
3.4.1.1.	Adquisición NI PCI-6115	42
3.4.1.2.	Adquisición NI PCI-5105	45
3.4.2.	Filtrado.....	48
3.4.2.1	Función WA Detrend.vi para filtrar onda de 60 Hz.	48
3.4.3.	Etapas de porción de señal.....	49
3.4.3.1.	Módulo Extract Portion of Signal	49
3.4.4.	Etapas de Trigger.....	50
3.4.4.1	Módulo Trigger and Gate	50
3.4.5.	Filtrado Denoising (segunda etapa de filtrado).	50
3.4.5.1	Función WA Denoise.vi	51
3.4.6.	Procesamiento de Señales.....	52
3.4.6.1	Función MathScript Node	53
3.4.6.2	Función Convert from Dynamic Data	53
3.4.6.3	Función Convert to Dynamic Data.....	54
3.4.7.	Visualización de Respuestas.....	54
3.4.7.1	Módulo Build XY Graph.....	54
3.5.	Proceso de adquisición y análisis en Matlab (Procesamiento de señal usado anteriormente).....	55

3.5.1.	Proceso de Adquisición plataforma Matlab	55
3.5.2.	Proceso de análisis en la plataforma Matlab (GUI)	57
3.6.	Ventajas de programar en LabView	58
3.7.	Resumen	60
4.	Capítulo IV.....	61
4.	ANALISIS Y VALIDACION DE RESULTADOS	61
4.1.	INTRODUCCION.....	61
4.2.	Configuración montaje experimental	61
4.2.1.	Análisis de resultados obtenidos off-line	61
4.2.2.	Análisis de resultados obtenidos transformador energizado	78
4.2.3.	Análisis de resultados obtenidos on-line	80
4.3.	Resumen	89
5.	Capítulo V.....	90
5.1.	CONCLUSIONES.....	90
5.2.	TRABAJOS FUTUROS	92
6.	BIBLIOGRAFIA	93

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Comparación principales características de las tarjetas de adquisición ..	39
Tabla 2. Análisis comparativo Matlab Labview	60
Tabla 3. Características eléctricas primer transformador.....	61
Tabla 4. Características eléctricas segundo transformador	70

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Metodo IFRA para la prueba FRA on-line en transformadores.....	15
Figura 2. Etapas para llevar a cabo la prueba FRA con el transformador en servicio.....	16
Figura 3. Sistema de inyección	16
Figura 4. Pulso controlado sobre la señal de 60 Hz, aplicado para la medida IFRA On-Line.	17
Figura 5. Configuraciones de la medida IFRA on-line en un transformador.	18
Figura 6. Interfaz de LabVIEW, Panel Frontal ejemplo Power Spectrum Measurement.	24
Figura 7. Paleta de controles (categoría Modern expandida).	25
Figura 8. Controles e Indicadores Numéricos (1 Control, 2 Indicador).	26
Figura 9. Controles e Indicadores Booleano (1 Control, 2 Indicador).	27
Figura 10. Controles e Indicadores de Cadena de Caracteres (1 Control, 2 Indicador).	27
Figura 11. Interfaz de LabVIEW, Diagrama de Bloques ejemplo Power Spectrum Measurement.	28
Figura 12. Paleta de funciones (categoría Programming expandida).	29
Figura 13. <i>Paleta de herramientas</i>	30
Figura 14. <i>Barra de herramientas de estado</i>	30
Figura 15. Ejemplo Formula Node.	33
Figura 16. <i>Ejemplo MathScript Node</i>	33
Figura 17. Elementos necesarios para la adquisición de la tarjeta NI PCI-6115 en la plataforma LabView	40
Figura 18. Elementos necesarios para la adquisición de la tarjeta NI PCI-5105 en la plataforma LabView	41
Figura 19. Adquisición por DAQ Assistan para la tarjeta NI PCI-6115.....	42
Figura 20. DAQmx Create Task.vi	43
Figura 21. DAQmx Create Channel (AI-Voltage-Basic)	43
Figura 22. DAQmx Create Channel (TEDS-AI-Voltage-Basic).....	43
Figura 23. DAQmx Timing (Sample Clock).vi.....	44
Figura 24. DAQmx Control Task.vi	44
Figura 25. DAQmx Read (Analog 1D Wfm NChan NSamp).vi.....	44
Figura 26. DAQmx Stop Task.vi.....	45
Figura 27. DAQmx Control Task.vi	45

Figura 28. NIScope modulo usado para la Tarjeta NI PCI-5105.....	45
Figura 29. niScope initialize.vi.....	46
Figura 30. niScope Configure Horizontal Timming.v.....	46
Figura 31. niScope Configure Chan Characteristics.vi.....	47
Figura 32. niScope Configure Vertical.vi.....	47
Figura 33. niScope Initiate Acquisition.vi	47
Figura 34. niScope Multi Fetch WDT.vi.....	47
Figura 35. niScope Close.vi	48
Figura 36. WA Detrend.vi.....	48
Figura 37. Extract Portion of Signal	50
Figura 38. Trigger and Gate.....	50
Figura 39. WA Denoise.vi	51
Figura 40. MathScript Node	53
Figura 41. Convert from Dynamic Data.....	54
Figura 42. Convert to Dynamic Data.....	54
Figura 43. Build XY Graph	55
Figura 44. NI-SCOPE Acquire	56
Figura 45. DAQmx Acquire	56
Figura 46. Plataforma GUI Matlab	57
Figura 47. Curva FRA 400VA B_AA Panel Frontal Interfaz LabView	62
Figura 48. Curva FRA 400VA B_AA Exportada Interfaz LabView	62
Figura 49. Curva FRA 400VA B_AA Algoritmo Matlab	63
Figura 50. Curva FRA 400VA B_AA Referencia FRAX	63
Figura 51. Curva FRA 400VA B_AC Panel Frontal Interfaz LabView	64
Figura 52. Curva FRA 400VA B_AC Exportada Interfaz LabView	64
Figura 53. Curva FRA 400VA B_AC Algoritmo Matlab	65
Figura 54. Curva FRA 400VA B_AC Referencia FRAX	65
Figura 55. Curva FRA 400VA A_BA Panel Frontal Interfaz LabView	66
Figura 56. Curva FRA 400VA A_BA Exportada Interfaz LabView	66
Figura 57. Curva FRA 400VA A_BA Algoritmo Matlab	67
Figura 58. Curva FRA 400VA A_BA Referencia FRAX	67
Figura 59. Curva FRA 400VA A_BC Panel Frontal Interfaz LabView	68
Figura 60. Curva FRA 400VA A_BC Exportada Interfaz LabView	68
Figura 61. Curva FRA 400VA A_BC Algoritmo Matlab	69
Figura 62. Curva FRA 400VA A_BC Referencia FRAX	69
Figura 63. Curva FRA Rymel B_AA Panel Frontal Interfaz LabView	70
Figura 64. Curva FRA Rymel B_AA Exportada Interfaz LabView	71
Figura 65. Curva FRA Rymel B_AA Algoritmo Matlab	71
Figura 66. Curva FRA Rymel B_AA Referencia FRAX	72

Figura 67. Curva FRA Rymel B_AC Panel Frontal Interfaz LabView	72
Figura 68. Curva FRA Rymel B_AC Exportada Interfaz LabView	73
Figura 69. Curva FRA Rymel B_AC Algoritmo Matlab	73
Figura 70. Curva FRA Rymel B_AC Referencia FRAX	74
Figura 71. Curva FRA Rymel A_BA Panel Frontal Interfaz LabView	74
Figura 72. Curva FRA Rymel A_BA Exportada Interfaz LabView	75
Figura 73. Curva FRA Rymel A_BA Algoritmo Matlab	75
Figura 74. Curva FRA Rymel A_BA Referencia FRAX	76
Figura 75. Curva FRA Rymel A_BC Panel Frontal Interfaz LabView	76
Figura 76. Curva FRA Rymel A_BC Exportada Interfaz LabView	77
Figura 77. Curva FRA Rymel A_BC Algoritmo Matlab	77
Figura 78. Curva FRA Rymel A_BC Referencia FRAX	78
Figura 79. Curva FRA 400VA B_A energizado Panel Frontal Interfaz LabView ...	79
Figura 80. Curva FRA 400VA B_A energizado Exportada Interfaz LabView	79
Figura 81. Curva FRA 400VA B_A energizado Algoritmo Matlab	80
Figura 82. Configuración experimental proceso on-line	80
Figura 83. Curva FRA 400VA B7.3 Ω _Aenergizado Panel Frontal Interfaz LabView	81
Figura 84. Curva FRA 400VA B7.3 Ω _Aenergizado Exportada Interfaz LabView	81
Figura 85. Curva FRA 400VA B7.3 Ω _Aenergizado Algoritmo Matlab	82
Figura 86. Señales V, I en el tiempo 400VA B7.3 Ω _Aenergizado	82
Figura 87. Señal V en el tiempo filtrada 400VA B7.3 Ω _Aenergizado	83
Figura 88. Señal I en el tiempo filtrada 400VA B7.3 Ω _Aenergizado	83
Figura 89. Curva FRA 400VA B14.3 Ω _Aenergizado Exportada Interfaz LabView	84
Figura 90. Curva FRA 400VA B14.3 Ω _Aenergizado Algoritmo Matlab	84
Figura 91. Curva FRA 400VA B43.1 Ω _Aenergizado Exportada Interfaz LabView	85
Figura 92. Curva FRA 400VA B43.1 Ω _Aenergizado Algoritmo Matlab	85
Figura 93. Curva FRA 400VA B64.5 Ω _Aenergizado Exportada Interfaz LabView	86
Figura 94. Curva FRA 400VA B64.5 Ω _Aenergizado Algoritmo Matlab	86
Figura 95. Curva Referencia para pruebas On-Line	87
Figura 96. Configuración montaje experimental	88
Figura 97. Curvas FRA on-line Rymel B46 Ω , 23 Ω _Aenergizado	88
Figura 98. Curvas FRA on-line EXPLORER B46 Ω _Aenergizado	89
Figura 99. Adquisición configuración tarjeta NI PCI - 6115	96
Figura 100. Pestaña Configuración Canal NI PCI - 6115	98
Figura 101. Pestaña Configuración Tiempo NI PCI - 6115	99

Figura 102. Pestaña ajustes NI PCI - 6115.....	100
Figura 103 Adquisición configuración tarjeta NI PCI - 5105.....	102
Figura 104 Pestaña Configuración Canal NI PCI - 5105.....	103
Figura 105. Pestaña Regulacion del tiempo y Ajustes NI PCI - 5105	105
Figura 106. Panel Frontal Filtro Denoising.....	106
Figura 107. Panel frontal señales filtradas.....	108
Figura 108. Parámetros adicionales.	109
Figura 109. Indicadores de adquisición y procesado	110
Figura 110 Control Comenzar Análisis	110
Figura 111 Panel frontal Visualizacion curva FRA on - line	111

1. Capítulo I.

1. MONITOREO DEL TRANSFORMADOR EN SERVICIO, MEDIANTE EL ANALISIS DE RESPUESTA EN FRECUENCIA.

1.1. INTRODUCCION

Debido a que las redes eléctricas están cada vez más saturadas y los transformadores del sistema están sometidos continuamente a esfuerzos mecánicos, eléctricos, térmicos y condiciones meteorológicas extremas tal como las descargas atmosféricas, es necesario indagar sobre la posibilidad de herramientas que permitan monitorear el transformador de manera continua. Las pruebas con el transformador fuera de servicio implican altos costos al tener que sacar el transformador de la red eléctrica, además la confiabilidad en el suministro de energía a los usuarios disminuye, por lo que la prueba se podría realizar menos frecuente, es decir, solo cuando haya una sospecha de fallo. Realizar la prueba en estas condiciones no permitiría tener información detallada ni oportuna del estado real de operación del transformador lo cual sería una gran desventaja.

Existen chequeos estando el transformador en servicio (on- line)[1], como: análisis de gases disueltos (DGA), análisis de los cambiadores de Tap's, emisión acústica (AE), termografía por infrarrojo, temperatura, descargas parciales (PD), tangente delta (DT) y Capacitancia (C) [2]. A pesar de contar con estos chequeos on-line los cuales son de gran ayuda para el diagnóstico y monitoreo [3], [4], es necesario complementar estas pruebas con otras que permitan determinar el estado de los componentes internos del transformador, por lo que se ha pensado en la prueba FRA (por sus siglas en Ingles Frequency Response Analysis) con el transformador en servicio, aportes en el tema y desarrollos futuros de la técnica on-line se presentan en detalle en [5].

Obtener la respuesta en frecuencia (FRA) con el transformador en servicio (on-line) es una alternativa que se ha visualizado de gran interés debido a que permitiría monitorear el transformador en todo momento pudiéndose detectar cualquier anomalía antes que cause una falla y reduciendo los costos asociados a la ejecución de la prueba.

1.2. Método utilizado para llevar a cabo la prueba FRA on-line en transformadores

De acuerdo a la naturaleza de la señal de entrada, existen dos métodos para obtener la respuesta en frecuencia en transformadores off-line, el primero es conocido como SFRA (Análisis de la respuesta en frecuencia ante un barrido frecuencial) que consiste en inyectar una señal periódica sinusoidal con amplitud de pequeña señal ($1-20 V_{RMS}$) y frecuencia variable en un ancho de banda entre Hz-MHz, aplicada en uno de los terminales, midiendo la señal de salida en otro de sus terminales para obtener la función de transferencia del transformador, esta se define como el cociente entre las tensiones de salida y entrada para todos los puntos de frecuencia medidos.

El segundo método IFRA (Análisis de la respuesta en frecuencia ante impulso) utiliza una única señal no periódica tipo impulso, con valor máximo del orden de cientos de voltios y un amplio contenido frecuencial, inyectada por cualquiera de los terminales accesibles del transformador como señal de excitación o de entrada. La señal de salida se mide igualmente en otro terminal del transformador y luego se obtiene la respuesta en frecuencia. Ver Figura 1.

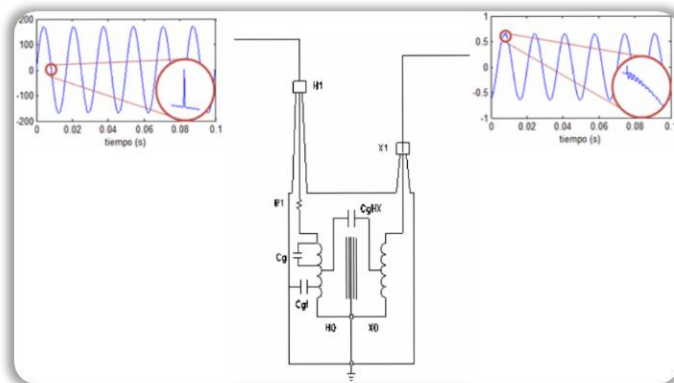


Figura 1. Método IFRA para la prueba FRA on-line en transformadores

Se han hecho algunos trabajos sobre la prueba de respuesta en frecuencia con el transformador en servicio (On-Line) mediante la técnica del impulso (IFRA) [5], el método propuesto y trabajado en este proyecto de grado fue el método IFRA On-Line desarrollado por el grupo de investigación GRALTA el cual se basa en pulsos controlados los cuales son inyectados con el transformador en servicio, es decir señales las cuales tienen un control total sobre el transitorio generado.

El método experimental IFRA on-line está compuesto por tres etapas las cuales se presentan en la Figura 2.

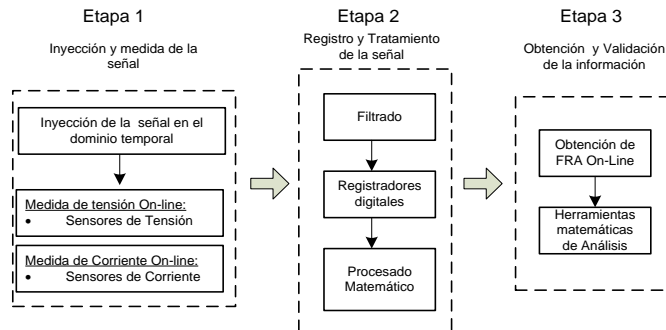


Figura 2. Etapas para llevar a cabo la prueba FRA con el transformador en servicio.

La etapa 1: se refiere a la inyección de la señal de excitación y su medida junto con la señal de salida. Para el sistema de inyección se diseñó un circuito electrónico dedicado específicamente para inyectar pulsos controlados sobre la señal de 60 Hz. (ver Figura 3)

El sistema de inyección permite cambiar la amplitud, el ancho y la fase del pulso generado sobre la onda de 60 Hz, asegurando que posea un alto contenido espectral y teniendo un control total del mismo.

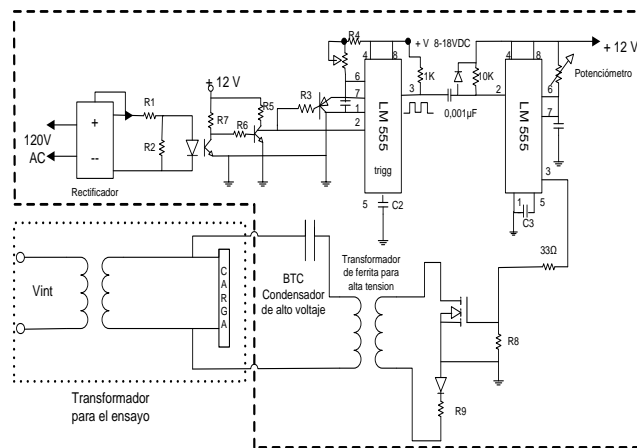


Figura 3. Sistema de inyección

El pulso controlado sobre la señal de 60 Hz, es la señal de entrada para la prueba de IFRA On-Line, este se envía al transformador bajo ensayo a través de un capacitor de alto voltaje que sirve de filtro paso alto para baja frecuencia y de filtro paso bajo para alta frecuencia, por otro lado el transformador de ferrita aísla el

circuito de inyección del transformador bajo prueba. En la Figura 4, se observa que la respuesta (pulsos en la señal de corriente) está en fase con la señal de voltaje inyectada.

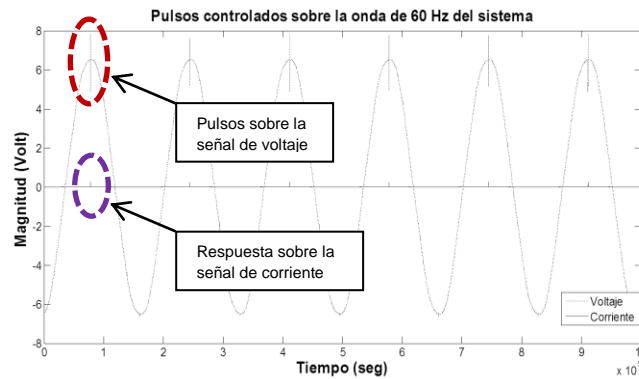


Figura 4. Pulso controlado sobre la señal de 60 Hz, aplicado para la medida IFRA On-Line.

Una vez inyectada y medida la señal de entrada/salida se continúa con **la etapa 2** que corresponde al filtrado, registro y procesamiento matemático de las señales.

Para la medida de las señales de voltaje y corriente se emplearon sensores con amplios anchos de banda, puntas de alta tensión para los pulsos de voltaje y bobinas de Rogoswky para la corriente (Figura 5), lo que permite el registro de transitorios sin problemas de saturación, teniendo en cuenta que los pulsos son de corta duración y alto contenido espectral.

Los pulsos controlados sobre las señales de voltaje y los de la respuesta en la señal corriente pueden ser afectados por la distorsión armónica y el ruido de fondo del sistema eléctrico, por lo que es necesario el uso de filtros de supresión para eliminar las señales indeseadas.

En este caso se usaron técnicas de filtrado basadas en el análisis de Multiresolución (MRA) de la transformada Wavelet Discreta. Para eliminar el ruido del sistema eléctrico se usó la wavelet madre db4, la cual es utilizada para el filtrado de señales eléctricas [6].

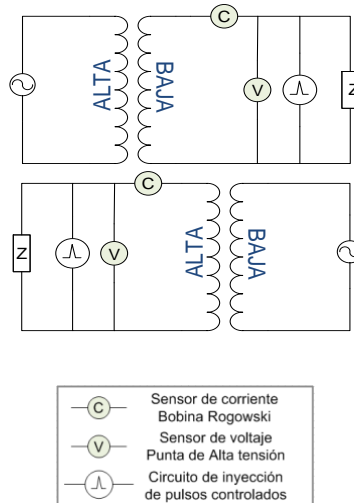


Figura 5. Configuraciones de la medida IFRA on-line en un transformador.

La etapa 3 consiste en la obtención de la curva FRA y el análisis de la información contenida en la Respuesta en frecuencia haciendo uso de diversas herramientas matemáticas, es aquí donde el trabajo de grado desarrollado presenta un aporte valioso con el monitoreo on-line de la curva FRA de manera continua y permanente.

Para validar los registros On-Line obtenidos mediante el método experimental propuesto, se realizó la comparación de los mismos con medidas de respuesta en frecuencia Off-Line obtenidas con un equipo FRAX 101 de MEGGER.

1.3. Monitoreo de ejecución On-Line mediante FRA usando instrumentación virtual

Se entiende por sistema de monitoreo y control remoto a la observación y recolección de datos en lugares remotos, el procesamiento de éstos y la ejecución de acciones de control, derivadas del análisis de las observaciones realizadas, para modificar la operación de los dispositivos remotos [5].

En la actualidad la adquisición de datos en sistemas de monitoreo de variables, en general siguen una arquitectura tradicional que pueden emplear por ejemplo microcontroladores entre otras opciones, con funciones como establecer el tiempo en que se debe tomar una muestra de los sensores, transformar señales análogas de los sensores en señales digitales, almacenarlas en la memoria y finalmente, controlar un módulo de comunicaciones para transmitir la información a través de

un puerto, para esto se utilizan una amplia variedad de tarjetas de adquisición de datos [7].

Otra manera y mucho más novedosa de sistemas de monitoreo y control, es el uso de la instrumentación virtual [8], que se basa en un concepto donde el software es el elemento principal del sistema, a diferencia de la instrumentación tradicional, donde lo principal es el hardware.

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) es un lenguaje de programación gráfico para el diseño de sistemas de adquisición de datos, instrumentación y control. LabView permite diseñar interfaces de usuario mediante una consola interactiva basada en software. Donde se puede diseñar especificando el sistema funcional, el diagrama de bloques o una notación de diseño de ingeniería. LabView es a la vez compatible con herramientas de desarrollo similares y puede trabajar con programas de otra área de aplicación, como por ejemplo Matlab. Tiene la ventaja de que permite una fácil integración con hardware, específicamente con tarjetas de medición, adquisición y procesamiento de datos (incluyendo adquisición de imágenes) [9].

LabView tiene su mayor aplicación en sistemas de medición, como monitoreo de procesos y aplicaciones de control, un ejemplo de esto pueden ser sistemas de monitoreo en transportación, Laboratorios para clases en universidades, procesos de control industrial. LabView es muy utilizado en procesamiento digital de señales (wavelets, FFT, Total Distorsion Harmonic TDH), procesamiento en tiempo real de aplicaciones biomédicas, manipulación de imágenes y audio, automatización, diseño de filtros digitales, generación de señales, entre otras, etc. [10], [11].

La programación G (gráfica) de LabView consta de un panel frontal y un panel de código. En el panel frontal es donde se diseña la interfaz de usuario y se ubican los controles e indicadores. En el panel de código se encuentran las funciones. Cada control que se utiliza en la interfaz tiene una representación en el panel de código, igualmente los indicadores necesarios para entregar la información procesada al usuario tienen un icono que los identifica en el panel de código o de programación. Los controles pueden ser booleanos, numéricos, strings, un arreglo matricial de estos o una combinación de los anteriores; y los indicadores pueden ser como para el caso de controles pero pudiéndolos visualizar como tablas, gráficos en 2D o 3D, browser, entre otros [10].

La adquisición de datos o adquisición de señales, consiste en la toma de muestras del mundo real (sistema analógico) para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador u otras electrónicas (sistema digital). Consiste, en tomar un conjunto de señales físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y

digitalizarlas de manera que se puedan procesar en una computadora o PAC. Se requiere una etapa de acondicionamiento, que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital. El elemento que hace dicha transformación es el módulo de digitalización o tarjeta de Adquisición de Datos (DAQ) [12].

Las señales de entrada y salida se pueden expresar o estudiar de diferentes formas. El análisis de respuesta en frecuencia (FRA) es ahora una herramienta establecida y probada, que identifica algunas fallas mecánicas típicas en transformadores de potencia.

La respuesta en frecuencia es la medida cuantitativa de la salida de espectro de un sistema o dispositivo en respuesta a un estímulo, y se utiliza para caracterizar la dinámica del sistema. Se trata de una medida de la magnitud y la fase de la salida en función de la frecuencia, en comparación con el de entrada. En términos sencillos, si una onda sinusoidal se inyecta en un sistema a una frecuencia dada, un sistema lineal responde a esa misma frecuencia con cierta magnitud y un ángulo de fase determinada en relación con la entrada. También para un sistema lineal, el doble de la amplitud de la entrada será el doble de la amplitud de la salida. Además, si el sistema es invariante en el tiempo, entonces la respuesta de frecuencia también será invariable con el tiempo.

Sin embargo todas las medidas de FRA han sido hasta ahora fuera de – línea. Una técnica en – línea sería de mucha utilidad, ya que esto prevendrá un fracaso mientras el transformador este en continuo funcionamiento.

1.4. Monitoreo de ejecución On-Line y prueba de equipos eléctricos usando instrumentación virtual

En el presente trabajo de grado se propone un método de experimentación donde se utiliza una computadora como instrumentación virtual para la sustitución de equipos de medición eléctricos viejos o convencionales, como pueden ser voltímetros, amperímetros, osciloscopios etc. Todo para estar a la vanguardia de los nuevos procesos y a la actual tecnología, con el advenimiento de nuevos sensores sofisticados para el desarrollo de la prueba FRA on-line, mediante el registro de señales de voltaje y corriente [13], [14] y [15].

Como una muestra de los desarrollos realizados en la instrumentación virtual se expone un modelo de instrumentación virtual, con el diseño de un sistema para supervisar el perjuicio DC de un transformador, el software se desarrolló utilizando la plataforma LabView. El sistema fue usado para supervisar el transformador

principal (500kV) de una subestación, todo el proceso de monitoreo se expone en: [16]-[17].

El transformador está regido por tres características principales tal como: funcionalidad, eficiencia y rentabilidad, permitiendo garantizar una confiabilidad en el suministro de energía, accediendo con una complementariedad energética optimizando las reservas y recursos energéticos.

Existen múltiples técnicas para el estudio y diagnóstico de los parámetros de funcionamiento de un transformador, sin embargo, los métodos para el monitoreo on-line actualmente son trabajos de estudio e investigación.

El presente trabajo de grado, busca implementar una interfaz gráfica que permita visualizar la respuesta en frecuencia (curva FRA on-line), del transformador estando en servicio precisamente para poder monitorear sus parámetros y garantizar un seguimiento del transformador en todo momento, para aportar con la confiabilidad del sistema de potencia.

1.5. Resumen

En el presente capítulo se describió el método usado para la aplicación de FRA on-line en transformadores indicado cada una de las etapas e identificando el aporte del trabajo de grado, al igual que la descripción de la herramienta virtual y los instrumentos virtuales para llevar a cabo un monitoreo on-line.

2. Capítulo II.

2. DESCRIPCION DE LA PLATAFORMA LABVIEW PARA EL PROCESAMIENTO DE SEÑALES.

2.1. INTRODUCCION

LabView es un software con un ambiente gráfico de programación que utiliza iconos en lugar de líneas de código tradicional para realizar aplicaciones. A diferencia de los lenguajes de programación de texto convencionales donde las instrucciones determinan la ejecución del programa, en LabView se utiliza la programación gráfica, donde el flujo de la información determina la ejecución del programa.

Los programas desarrollados en este lenguaje se denominan Instrumentos Virtuales (VIs) ya que su funcionamiento y apariencia son parecidos a un instrumento real. Estos VIs tienen una parte interactiva con el usuario y aceptan parámetros que pueden proceder de otros VIs y ser modificados mediante las paletas que contienen las opciones para estas acciones.

Cada VI utiliza funciones que manipula entradas del usuario u otra fuente, ya sea para procesar dicha información o, para generar registros de los resultados.

Un **VI** contiene tres componentes:

El **panel frontal**.- Este componente es el principal y opera como la interfaz del usuario.

El **diagrama de bloques**.- Contiene la programación gráfica del proceso a realizar en el **VI**.

El **plano de íconos y conectores**.- Muestra el **VI** y las posibles entradas y salidas del mismo. Este elemento puede ser utilizado dentro de otro **VI**, y se le llama subVI.

Para crear un interfaz entre el usuario y el programa es necesario un panel frontal que tome las entradas procedentes del usuario. El panel frontal está formado por botones, pulsadores, gráficos, etc. Que puedan introducir y leer los datos y resultados producidos de alguna operación.

El diagrama de bloques constituye el código fuente del VI; aquí es donde se realiza la implementación del programa para controlar o realizar cualquier proceso de entradas y salidas que se crearon con anterioridad en el panel frontal.

En este capítulo se hace una descripción de la plataforma LabView con el objeto de mostrar la potencialidad que se tiene para monitoreo de señales y manejo de datos on-line.

2.2. Programación en LabVIEW

LabView es el acrónimo de **L**aboratory **V**irtual Instrument **E**ngineering **W**orkbech, es un lenguaje y entorno de programación grafica en el que se pueden crear aplicaciones de una forma rápida y sencilla.

Al lenguaje de programación que usa LabView también se le llama lenguaje G. la mayoría de los lenguajes se basan en una programación imperativa, la cual es simplemente una sucesión de operaciones. Sin embargo el lenguaje G no usa programación imperativa sino una ejecución basada en el flujo de datos.

Un programa desarrollado de la anterior manera consiste básicamente en una serie de funciones unidas mediante cables. Los datos circulan o fluyen por los cables. Una función solo podrá ejecutarse cuando tenga disponibles todos los datos que le sirvieron como entradas. Esta forma de ejecutar un programa favorece el paralelismo y es más apropiada para sistemas multiprocesador y multihilo.

Aunque se representa gráficamente en lugar de texto. El lenguaje G contiene los mismos conceptos de programación que se pueden encontrar en la mayoría de los lenguajes tradicionales. Por ejemplo, G incluye todas las construcciones estándares tales como tipos de datos, bucles, eventos, variables, recursividad y programación orientada a objetos.

Los ficheros con los programas creados en LabView son llamados instrumentos virtuales o VIs (Virtual Instrument). Ya que su apariencia y operación generalmente imitan a los instrumentos físicos, como osciloscopios y multímetros. Los VIs son jerárquicos y modulares, pueden usarse como programas principales, o como subprogramas dentro de otros programas; un VI dentro de otro VI se denomina subVI, el icono y conector de un VI trabaja como una lista de parámetros grafica para que otros VIs puedan pasar datos a un subVI. Al momento de la creación de un nuevo VI se podrán ver dos ventanas; la ventana del panel frontal y el diagrama de bloques [10], [17].

Se dispone de extensas bibliotecas de funciones para cualquier tarea de la programación, como lo son bibliotecas para adquisición de datos, control de instrumentos, análisis, presentación y almacenamiento de datos. Además se cuenta con herramientas de desarrollo de programas para su mejor y fácil manejo.

2.2.1. Panel Frontal

El *Panel Frontal* corresponde a la instancia visual de la aplicación, en donde se muestran los controles, botones, gráficos e indicadores. El *Panel frontal* fue creado como la idea del panel de visualización de un instrumento real. Aquí, el usuario puede ejercer control sobre la aplicación actuando sobre perillas, botones o el teclado.

Los controles presentes en el panel frontal simulan instrumentos de entradas de equipos y suministra datos al diagrama de bloques del VI que corresponden a los componentes de entrada tal como se indica en la Figura 6 ; botones, marcadores, etc. ya mencionados anteriormente.

Los indicadores simulan salidas de instrumentos y suministra datos que el diagrama de bloques adquiere o genera entre otras estas pueden ser las gráficas, luces y otros dispositivos de salida, estas interactúan con las terminales del VI.

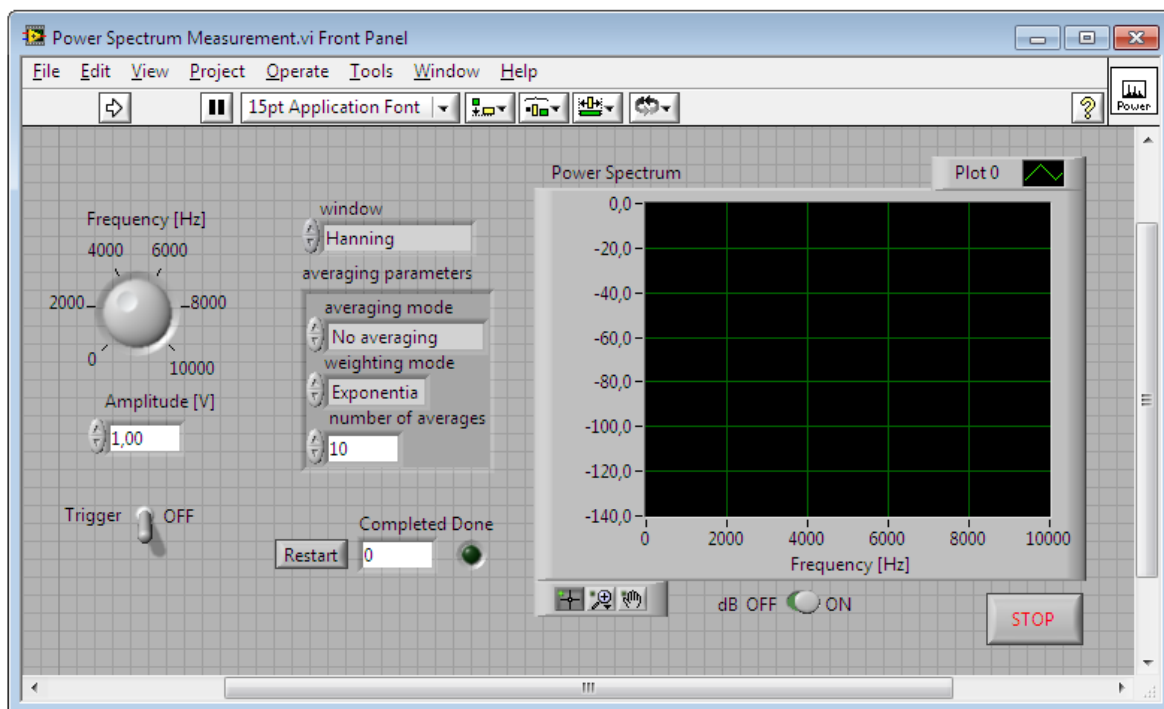


Figura 6. Interfaz de LabVIEW, Panel Frontal ejemplo Power Spectrum Measurement.

2.2.1.1. Paleta de Controles

La paleta de controles en LabView (Ver Figura 7) proporciona las herramientas que se requieren para crear la interfaz del VI con el usuario, lo que se conoce como Panel Frontal. Se puede tener acceso a la paleta de controles en la ventana del panel frontal al seleccionar View>>Controls Palette o simplemente con dar clic con botón derecho en cualquier espacio en blanco de dicha ventana.

Esta paleta está dividida en varias categorías; se puede exponer algunas o todas estas categorías para cumplir con las necesidades requeridas, los terminales que se seleccionan en la paleta de controles se dividen en controles e indicadores, aunque a veces se le suele llamar a todos genéricamente controles.

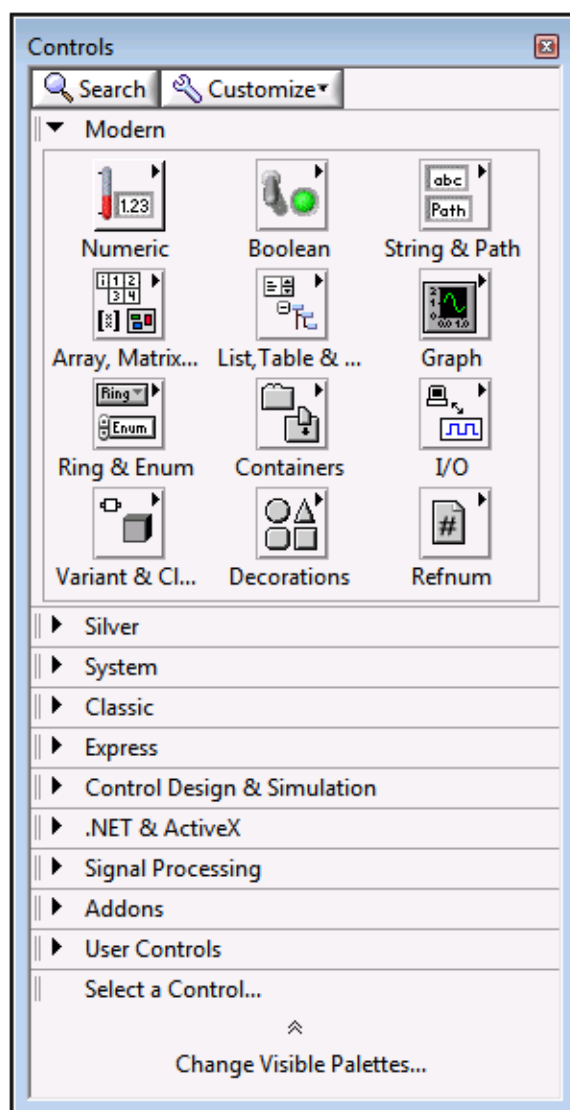


Figura 7. Paleta de controles (categoría Modern expandida).

2.2.1.2. Controles e indicadores

Al colocar controles e indicadores en el panel frontal de un VI se está creando una interfaz de usuario y cuando se interactúa con este panel frontal, se pueden modificar controles para alimentar entradas y ver los resultados en los indicadores. Los controles propiamente dichos son las entradas de datos y los indicadores las salidas. Están clasificados según su estilo en varios submenús. Dentro de cada submenú hay otros menús que clasifican los controles por el tipo de datos. Los más usados son los que sirven para dibujar gráficas y los que corresponden a datos de tipo numérico, booleano, textos y tipos compuestos.

Los controles generalmente son perillas, botones y barras deslizantes. Los controles simulan dispositivos de entrada de instrumentos y suministran datos al diagrama de bloques del VI. Los indicadores generalmente son gráficas, tablas, LEDs y secuencias de estado. Los indicadores simulan dispositivos de salida de instrumentos y muestran los datos que el diagrama de bloques adquiere o genera. Cabe resaltar que cada control o indicador tiene un tipo de datos asociado con él. Por ejemplo el slid horizontal Delay (sec) es un tipo de datos numérico. Los tipos de datos utilizados con mayor frecuencia son numéricos, Booleano y cadena de caracteres.

- **Controles e indicadores Numéricos**

El tipo de datos numérico puede representar números de varios tipos como un entero o real. Los dos objetos numéricos comunes son el control numérico y el indicador numérico. Los objetos como medidores y perillas también representan datos numéricos. (Ver Figura 8)

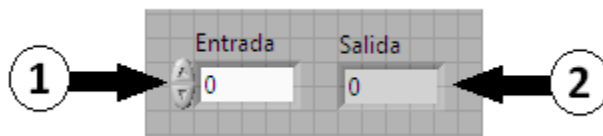


Figura 8. Controles e Indicadores Numéricos (1 Control, 2 Indicador).

- **Controles e indicadores Booleano**

El tipo de datos booleano representa datos que solamente tienen dos estados posibles, como TRUE Y FALSE u ON y OFF. Se usan para proporcionar y visualizar valores Booleano. Los objetos Booleano simulan interruptores, botones y LEDs. (Ver Figura 9)

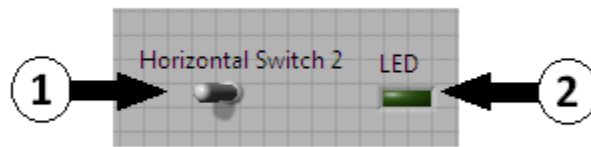


Figura 9. Controles e Indicadores Booleano (1 Control, 2 Indicador).

- **Controles e indicadores de Cadena de Caracteres**

El tipo de datos de cadena de caracteres es una secuencia de caracteres ASCII. Se usan para recibir texto desde el usuario como una contraseña o nombre de usuario. Como también para mostrar texto al usuario. Los objetos en cadena más comunes son tablas y cuadros de texto. (Ver Figura 10)



Figura 10. Controles e Indicadores de Cadena de Caracteres (1 Control, 2 Indicador).

2.2.2. Diagrama de Bloques

El *Diagrama de Bloques* como se ve en la Figura 11, es la instancia donde ocurre toda la programación, el flujo de datos y control de acciones. Esta instancia se encuentra compuesta por funciones del tipo *WHILE*, *IF*, *FOR*, etc., similares a las existentes en otros lenguajes. La acción de este tipo de funciones en conjunto con otros VI y los instrumentos del *Panel Frontal* corresponden al programa escrito en Lenguaje G e interpretado por LabVIEW.

En esta ventana, los objetos del panel frontal aparecen como terminales, los cables conectan cada uno de los nodos en el diagrama de bloques, incluyendo controles e indicadores de terminal, funciones y estructuras.

En el diagrama de bloques el flujo de datos va de izquierda a derecha y está determinado por las operaciones o funciones que procesan los datos. Aquí es fácil observar cómo se computan los datos en cada parte del programa cuando se

realiza una ejecución del programa paso a paso. En LabVIEW las variables se representan mediante una figura tanto en el panel frontal como en el diagrama de bloques, de esta forma se puede observar su respuesta en la interfaz del usuario y en el flujo de datos del código del programa.

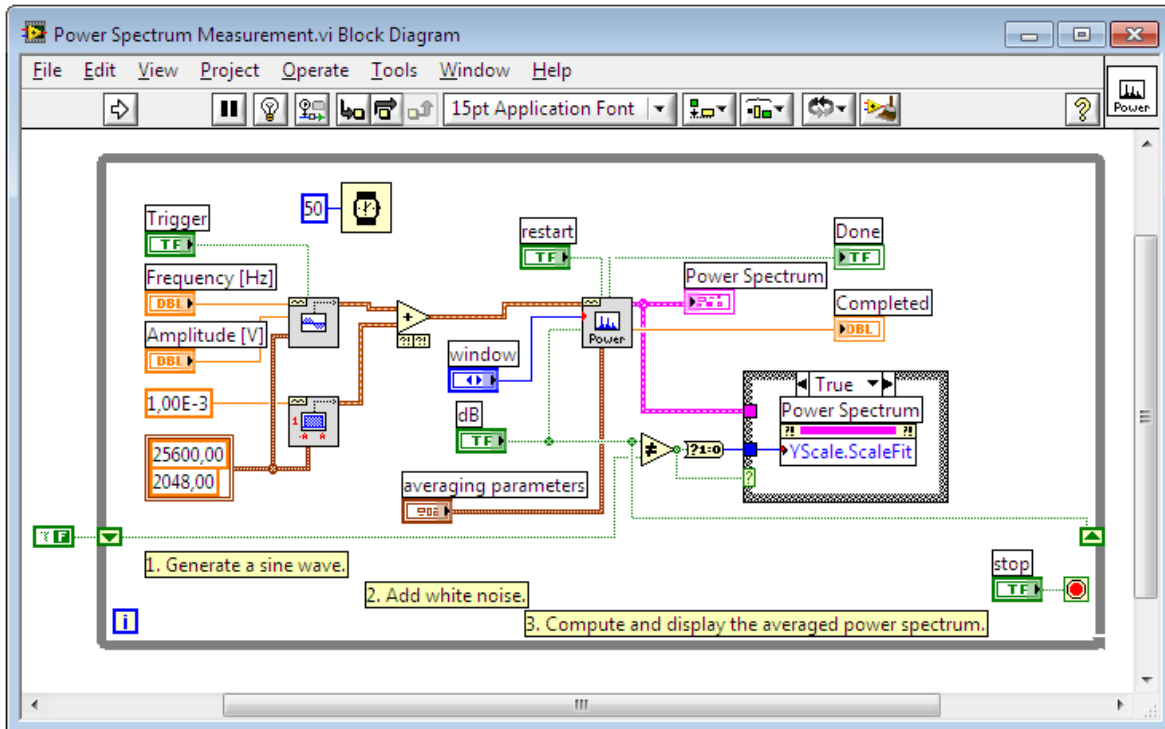


Figura 11. Interfaz de LabVIEW, Diagrama de Bloques ejemplo Power Spectrum Measurement.

2.2.2.1. Paleta de Funciones

La paleta de funciones es la que se muestra al trabajar sobre el Diagrama de Bloques (Ver Figura 12), en ella se puede acceder a las diferentes funciones, subVIs y estructuras disponibles.

Al igual que en el menú de controles, en este también hay varios submenús que se dividen dependiendo de la aplicación. Las funciones más usadas son las del submenú Programming.

El primero de los submenús de Programming es Structures. Contiene elementos que son equivalentes a las instrucciones de control de los lenguajes convencionales, es decir, son los bucles como WHILE o FOR y la estructura condicional CASE además de otras.

Los siguientes menús de Programming se dividen según el tipo de datos. Están los datos simples como los numéricos, booleanos y strings (texto), además de los

compuestos como clusters y arrays. Cada uno de estos menús tiene funciones para trabajar con esos datos.

Del mismo modo que con los controles, el método para usar las funciones y los VIs de la paleta de funciones es “arrastrar y colocar”. La diferencia entre una función y un VI es que las funciones son objetos con una funcionalidad fija y sin Panel Frontal mientras que los VIs son programas hechos en LabVIEW por National Instruments u otros programadores, como ya se había dicho anteriormente, estos si tienen Panel Frontal y se pueden acceder a él haciendo doble clic sobre el VI. Los VIs disponibles están en librerías dentro del directorio de instalación del software.

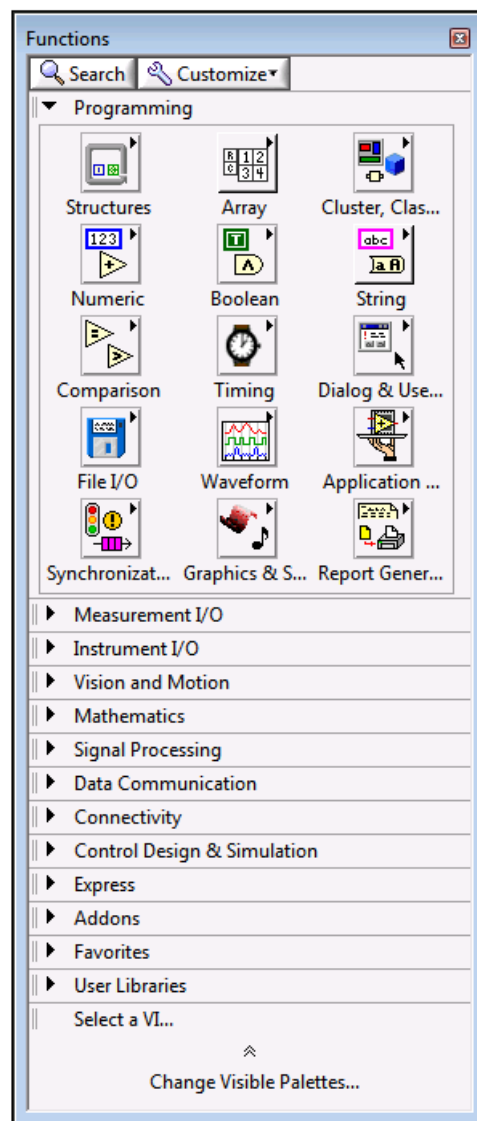


Figura 12. Paleta de funciones (categoría Programming expandida).

En modo de resumen la paleta de funciones contiene todos los objetos que se emplean en la implementación del programa, ya sean funciones aritméticas, de entrada/salida de señales, entrada/salida de datos a fichero, adquisición de señales, temporización de la ejecución del programa.

2.2.3. Paleta de herramientas

La paleta de herramientas se usa tanto en el Panel Frontal como en el Diagrama de Bloques. Contiene las herramientas necesarias para editar y depurar los objetos tanto del Panel Frontal como del Diagrama de Bloques. (Ver Figura 13)



Figura 13. *Paleta de herramientas.*

2.2.4. Barra de herramientas de estado

La barra de herramientas de estado muestra los controles de ejecución, esto es una vez concluido la programación del VI, se puede realizar su ejecución con las herramientas que esta presta.

Una vez situados en el Panel Frontal, para comenzar la ejecución se pulsara el botón *Run*, de este modo el programa se ejecutara una vez. Si se quiere la ejecución continua el botón *Continuous Run*, si durante la ejecución del programa se pulsa *Continuous Run* se finalizara la última ejecución del mismo, de este modo el programa se parara.

Estos botones junto con otros adicionales de la barra de herramientas sirven para indicación, cancelación de ejecución, configuración de textos, botón de pausa, cancelación y otros. (Ver Figura 14)



Figura 14. *Barra de herramientas de estado.*

2.2.5. Beneficios de la programación grafica en LabVIEW

LabView tiene como ventaja la reducción del tiempo del desarrollo de las aplicaciones específicas, adquisición, análisis y presentación de datos, ya que es un lenguaje muy fácil de aprender. Con un único sistema de desarrollo se integra las aplicaciones ya mencionadas que en este caso son las que se necesitan para manipular los datos provenientes de las señales adquiridas por la tarjeta de adquisición, para el presente trabajo, señales provenientes del transformador.

La plataforma LabView consta de un Diseño gráfico de sistemas, como un enfoque moderno para diseñar, generar prototipos y desplegar sistemas embebidos. Combina la programación grafica abierta con hardware para simplificar drásticamente el desarrollo. Brindando así la flexibilidad de un potente lenguaje de programación sin la complejidad de los entornos de desarrollo tradicionales. Con un ambiente fácil de aprender se convierte en una herramienta de completa funcionalidad con capacidades de E/S integradas.

La exploración de conceptos que permite LabView mejora la experiencia de aprendizaje con una perfecta integración con hardware para diseñar experimentos además de una plataforma abierta para establecer interfaz con otras herramientas de ingeniería y un estándar para la industria.

2.2.5.1. Programación Grafica Intuitiva

Como todo el mundo, los ingenieros y científicos aprenden observando y procesando imágenes sin necesidad de pensamiento consciente. Se denominan “pensadores visuales”, ya que son especialmente adeptos a organizar información con procesamiento visual. En otras palabras, piensan mejor en imágenes. Esto se refuerza a menudo en facultades y universidades donde se anima a los estudiantes a modelar soluciones a problemas como diagramas de proceso. Sin embargo, la mayoría de los lenguajes de programación de propósito general requieren el empleo de cantidades enormes de tiempo en aprender la sintaxis necesaria asociada con el lenguaje y mapear la estructura del mismo al problema a solventar. La programación grafica con G provee de una experiencia más intuitiva.

El código G es más sencillo de entender por estudiantes ingenieros y científicos porque están familiarizados con la visualización y la modelización gráfica de procesos y tareas en términos de diagramas de bloque y flujogramas (que siguen también las reglas del flujo de datos). Además, ya que los lenguajes de flujo de datos requieren basar la estructura del programa en el propio flujo, al programador se le anima a pensar en términos del problema que quiere solucionar. Por

ejemplo, y programa típico en G puede adquirir, en primer lugar, de varios canales de datos de temperatura, después pasarlos a una función de análisis y finalmente escribirlos a disco. En conjunto, el flujo de datos y los pasos involucrados en este programa son sencillos de comprender en el diagrama de LabView.

2.2.5.2. Administración de alarmas y eventos

Al adquirir grandes cantidades de datos o datos en largos periodos de tiempo, los ingenieros generalmente están menos interesados en el valor de cada punto de dato y más interesados en cambios significativos en los valores de los datos. LabView Puede monitorear estos cambios usando alarmas y eventos. Es importante conservar la historia de estas alarmas y eventos para que puedan ser analizadas posteriormente. Las características clave que necesita soportar incluyen la habilidad de generar una alarma, almacenarla junto con los datos asociados y volver a llamar la alarma y toda la información relevante después de la adquisición. La información relevante debe incluir la alarma que fue disparada, quién la reconoció y a qué hora fue reconocida. Con LabView DSC, puede configurar y monitorear alarmas usando el asistente HMI, lo cual les permite enfocarse en las causas de la alarma más que en programar una infraestructura.

2.2.5.3. Combinando G con otros lenguajes

Aunque el código G provee de una representación excelente para el paralelismo y elimina el requisito de los desarrolladores de entender y administrar el uso de memoria, no es necesariamente ideal para todas las tareas. En particular, las fórmulas matemáticas y las ecuaciones pueden ser representadas brevemente en texto. Por esa razón, se puede usar LabView para combinar la programación gráfica con varias formas de programación en texto, permitiendo elegir un enfoque textual, gráfico o combinado.

Por ejemplo, LabView contiene el concepto de Formula Node (Ver Figura 15), que evalúa las formulas y expresiones matemáticas de un modo similar a C en el diagrama de bloques. Estas fórmulas matemáticas se pueden ejecutar como código e integrarlas en el código gráfico de LabView.

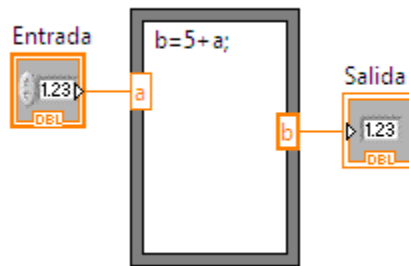


Figura 15. Ejemplo Formula Node.

Igualmente, el MathScript Node como se muestra en la Figura 16, añade programación textual matemática en LabView, generalmente compatible con la sintaxis de los archivos .m.

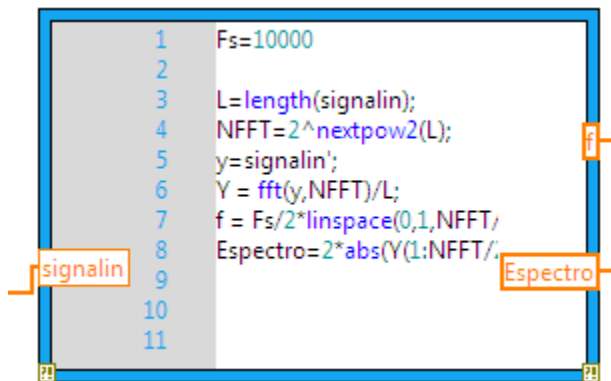


Figura 16. Ejemplo MathScript Node.

Una de las características más novedosas y funcionales de este software es su capacidad para aceptar y ejecutar *scripts* de MATLAB, lo que hace aún más grande el alcance de esta herramienta y esta es una de las principales razones por la cual se decidió realizar este proyecto en LabView.

2.2.5.4. Aplicaciones

LabView tiene su mayor aplicación en sistemas de medición, como monitoreo de procesos y aplicaciones de control, un ejemplo de esto pueden ser sistemas de monitoreo en transportación, Laboratorios para clases en universidades, procesos de control industrial. La herramienta es muy utilizada en procesamiento digital de señales (wavelets, FFT, Total Distorsion Harmonic TDH), procesamiento en tiempo real de aplicaciones biomédicas, manipulación de imágenes y audio, automatización, diseño de filtros digitales, generación de señales, entre otras, etc.

Además, existe en el mundo una extensa comunidad de investigadores orientados a la generación de aplicaciones y VI libres basadas en LabView, ampliando la facilidad para resolver dudas y crear aplicaciones en lo que respecta al uso de éste.

El análisis de respuesta en frecuencia es una técnica de diagnóstico para el transformador, el presente proyecto busca la forma de obtener la curva FRA, estando el transformador en servicio en tiempo real, esta prueba será necesaria dependiendo de la condición del transformador por tal razón la plataforma desarrollada en LabView; tendrá la facultad de monitorear el transformador diariamente por un lapso de tiempo que podría ser de 1 a 3 minutos, definiendo esa situación como tiempo real.

2.3. Resumen

LabView es una poderosa y flexible herramienta para la adquisición, análisis y presentación de datos, detrás del instrumento virtual, existe la interfaz de programación o Diagrama de Bloques, donde se hace uso de un lenguaje de programación gráfico o lenguaje G. cada elemento de entrada o salida en la interfaz del usuario o Panel Frontal tiene su correspondiente representación en el Diagrama de Bloques. El usuario, como se ha mencionado con anterioridad, puede cambiar los valores de entrada en cualquier momento durante el tiempo de ejecución del programa. El lenguaje G permite programar las aplicaciones mediante la interconexión lógica entre diversos elementos o instrumentos virtuales. Esta forma de programación también incluye características similares a las de otros lenguajes de programación como C, es decir, es capaz de aceptar variables locales o globales, utilizar opciones de control de lazos y flujo, llamando a funciones y algunas otras características muy prácticas.

LabView proporciona bibliotecas de análisis, rutinas y algoritmos que van desde matemática básica hasta procesamiento de señales avanzado, es precisamente esta una de las bibliotecas que se utiliza en el presente proyecto, lo cual puede ser perfectamente integrado con todas las funciones en la plataforma. Estas funciones, en conjunto con potentes habilidades de visualización de datos, hacen a LabView la herramienta ideal para la aplicación del monitoreo en servicio del transformador.

El análisis en línea implica que los datos sean analizados en la misma aplicación donde son adquiridos. Las decisiones se tienen que tomar inmediatamente y los resultados tienen consecuencias directas en el proceso, generalmente a través de parámetros que necesitan ser cambiados o acciones que deben ser realizadas.

Cuando se trabaja con análisis en línea, es importante considerar la cantidad de datos ya que estas rutinas pueden volverse intensas fácilmente y tienen un efecto adverso en el rendimiento de la aplicación. LabView ofrece rutinas de análisis y matemáticas que originalmente actúan con funciones de adquisición de datos y habilidades de visualización, para construirlas fácilmente en cualquier aplicación.

3. Capítulo III.

3. MONITOREO DE LA RESPUESTA EN FRECUENCIA CON EL TRANSFORMADOR EN SERVICIO USANDO LABVIEW

3.1. INTRODUCCIÓN

El transformador como uno de los equipos más importantes del sistema de potencia, cumpliendo una función primordial para el correcto y adecuado funcionamiento de la red eléctrica. Se convierte en un objeto para continuo monitoreo y así garantizar las condiciones óptimas de funcionamiento, facilitar el proceso de operación y seguimiento del transformadores en un objeto de estudio por la ingeniería eléctrica, buscando cada vez más nuevas herramientas que se adapten a las recientes tecnologías.

El monitoreo on-line del transformador mediante la respuesta en frecuencia usando la plataforma LabView, es un paso más para contar con un sistema que identifica y diagnostica en tiempo real, posibles fallas que se puedan presentar en un transformador mientras este en operación, o simplemente hacer un continuo seguimiento de su correcto funcionamiento.

En el siguiente capítulo se presenta el monitoreo del transformador estando en servicio mediante la respuesta en frecuencia usando la herramienta LabView, se describe el proceso paso a paso desde la adquisición de la señal hasta la obtención de la Curva FRA on-line, se presentan cada una de las etapas desarrolladas involucradas para el correcto análisis. Posteriormente se hace una comparación incluyendo ventajas y desventajas en relación con un análisis previo desarrollado en Matlab.

La plataforma desarrollada y la documentación de cada uno de los controles, se encuentra en el anexo.

3.2. Hardware de Adquisición.

A continuación se analiza la compatibilidad de algunas tarjetas de adquisición con la plataforma LabView y por supuesto con la interfaz gráfica desarrollada para el monitoreo del transformador en servicio.

- DIG-100M1002-PCI de CONTEC [18]

Es una tarjeta compatible con PCI-bus digitalizador que cuenta con: 10-bits de resolución, hasta 100MSPS velocidad de conversión (10nsec), el muestreo de 2 canales al mismo tiempo. Se adapta al lenguaje Visual Basic, Visual C++, Visual C#. No tiene un software desarrollado en LabView pero por la versatilidad de adaptarse a los lenguajes ya nombrados podría programarse para la plataforma LabView.

- M9703A de Agilent Technologies [19]

El M9703A es un revolucionario digitalizador de 8 canales, 12 bits, capaz de captar señales desde DC hasta 2 GHz en 1.6GS / s. La capacidad de entrelazado de este digitalizador de alta velocidad permite la adquisición de formas de onda de hasta 3,2 GS / s con una precisión de medición excepcional. El Agilent M9703A también proporciona muy larga capacidad de adquisición mediante la aplicación de hasta 4 GBytes de memoria interna y procesamiento en tiempo real de datos con cuatro Virtex 6 FPGAs. Con el software VSA Agilent 89600 se puede hacer un análisis avanzado para la medición además cuenta con drivers compatibles con LabVIEW, Microsoft C/C++ o C#.

- U1083A-001 de Agilent Technologies [20]

La familia Agilent U1083A cubre una gama de productos de alta velocidad convertidor de datos que se generan en una plataforma común VME / VXS en la que se conectan entresijos analógicos para proporcionar una variedad de digitalizadores de alta resolución y / o generadores.

Estos productos son ideales para banda ancha de alta velocidad y gran rango dinámico para aplicaciones exigentes, como la guerra electrónica (EW), Apoyo Electrónico (ES), ataque electrónico (EA) y la Medida Contador Electrónico (ECM), radar receptor digital / transmisor, telecomunicaciones, semiconductores y aplicaciones de pruebas, donde la alta frecuencia de muestreo, gran capacidad de procesamiento de datos y excelente rendimiento son obligatorios.

Los drivers presentan compatibilidad con Windows y Linux, aunque no existe VI ni modulo en LabView, por su versatilidad con los sistemas operativos nombrados podría aplicarse para una interfaz desarrollada en la plataforma LabView.

- Digitizer Family Product Matrix [21]

Es una serie de alto rendimiento de dispositivos digitalizadores de SP. Sobre la base de la placa ADQ DSP de procesamiento digital de señales en combinación con una serie de análogos de front-end juntas, los miembros de la familia ADQ V6

digitalizador abarca una amplia variedad de áreas de alto rendimiento de las aplicaciones.

Los drivers están disponibles para Windows 7, XP o Vista con soporte para C / C + API, MATLAB y LabVIEW.

ADQ V6

- ✓ Digitizer/Generator: SDR14 - 2 Analog Inputs, 2 Analog Outputs
- ✓ DAQ/Digitizer: ADQ108 - 8-bit, 7 GSPS
- ✓ DAQ/Digitizer: ADQ412 - 4-channel, 12-bit, 3.6 GSPS
- ✓ DAQ/Digitizer: ADQ1600 - 1-channel, 14-bit, 1.6 GSPS

ADQ V5

- ✓ DAQ/Digitizer: ADQ112 - 12-bit, 1100MSPS, 170 MSamples
- ✓ DAQ/Digitizer: ADQ212 - Dual, 12-bit, 550 MSPS, 170 MSamples
- ✓ DAQ/Digitizer: ADQ114 - 14-bit, 800 MSPS, 128 MSample
- ✓ DAQ/Digitizer: ADQ214 - Dual, 14-bit, 400 MSPS, 128 MSamples

- 14X2 Express CompuScope de GaGe Razor [22]

La galga Razor 14x2 express CompuScope PCIe digitalizador tablero, cuenta con resolución de 14 bits con frecuencias de muestreo de hasta 200 MS / s con cierto número efectivo de bits (ENOB) de 11-bits con entrada 10 MHz.

Los drivers son compatibles con Windows y plataformas como Matlab y LabView.

- PCI-1714U de Advantech [23]

Las tarjetas de adquisición PCI-1714U/PCI-1714UL y 1744-PCIE son de alto rendimiento, la frecuencia de muestreo máxima de PCI-1714U/PCIE-1744 puede obtener hasta 30 MS / s, en cada canal, con un énfasis continuo, sin parar, de alta velocidad. El PCI-1714UL ofrece 10 MS / s en cada canal a un ritmo estable, y también ha sido equipado con una interfaz universal PCI.

No presenta módulos en LabView, y no se especifica la compatibilidad con sistemas operativos como Windows o Linux.

En la Tabla 1. Se presentan las principales características de las tarjetas de adquisición estudiadas, con el fin de establecer la compatibilidad con la plataforma LabView, y con la interfaz gráfica desarrollada en el presente proyecto.

Tarjeta de adquisición	Software	Canales de entrada	Resolución	Rango de entrada	Velocidad muestreo	Memoria
DIG-100M1002-PCI	Mask editor	2	10 bits	$\pm 20V$	100 MS/s	32 MB
M9703A	VSA Agilent 89600	8	12 bits	1V/2V	1,6 GS/s	64 MB
U1083A-001	Wind River VxWorks	2	14 bits	$\pm 2V$	1,2 GS/s	512 MB
SDR14	Soporte LabView	2	14 bits	$\pm 2,2V$	800 MS/s	500 MB
ADQ108	Soporte LabView	1	8 bits	$\pm 700 \text{ mVpp}$	7 GS/s	1024 MS
ADQ412	Soporte LabView	4	12 bits	$\pm 750 \text{ mVpp}$	3,6 GS/s	700 MS
ADQ1600	Soporte LabView	1	14 bits	$\pm 2,2Vpp$	1,6 GS/s	500 MS
ADQ112	Soporte LabView	1	12 bits	$\pm 2,2Vpp$	1,1 GS/s	170 MS
ADQ212	Soporte LabView	2	12 bits	$\pm 2,2Vpp$	550 MS/s	170 MS
ADQ114	Soporte LabView	1	14 bits	$\pm 2,2Vpp$	800 MS/s	128 MS
ADQ214	Soporte LabView	2	14 bits	$\pm 2,2Vpp$	400 MS/s	128 MS
14X2 Express	CompuScope SDK	4	14 bits	$\pm 50V$	200 MS/s	32 GB
PCI-1714U	polling, pacer	4	12 bits	$\pm 5V$	30 MS/s	32678 S
PCI-1714UL	polling, pacer	4	12 bits	$\pm 5V$	10 MS/s	8192 S
1744-PCIE	polling, pacer	4	12 bits	$\pm 5V$	30 MS/s	8192 S
NI PCI - 6115	DAQ Assistant	4	12 bits	$\pm 42V$	10 MS/s	32MB
NI PCI - 5105	NI Scope	8	12 bits	$\pm 50 \text{ mV}$	60 MS/s	512 MB

Tabla 1. Comparación principales características de las tarjetas de adquisición

Todas las tarjetas NI National Instruments son compatibles con la plataforma Labview y por esta razón son compatibles con la plataforma desarrollada en el presente proyecto para el monitoreo del transformador en servicio, claro teniendo en cuenta algunas características como: Mínimo 2 canales de entrada, adquisición simultánea, una buena frecuencia de muestreo preferiblemente mayor o igual a 10 MS/s, memoria interna mayor a 30MB.

Sin embargo cada una de las tarjetas requiere de un código de programación o modulo diferente para realizar la adquisición desde el panel frontal, la plataforma desarrollada tiene la versatilidad (código ya programado) para utilizar las tarjetas de adquisición NI PCI 6115 / NI PCI 5105.

Todas las tarjetas que tengan módulos compatibles con la plataforma Labview y cumplan con los requerimientos mínimos ya nombrados, serán compatibles con la plataforma desarrollada, y las tarjetas que se adapten al lenguaje Visual Basic, Visual C++, Visual C#. Podrían incorporarse con esos códigos desde LabView.

A continuación se describen los equipos de National Instruments, utilizados en este trabajo de grado para el registro de señales.

3.2.1. Tarjeta de Adquisición de Datos NI PCI-6115: (ver Figura 17) [24]

Principales características de la tarjeta NI PCI-6115.

- 4 entradas analógicas de alta velocidad, 10 MS/s por canal
- Memoria interna de mayor capacidad (32 ó 64 MS) y rangos de entrada Máximos de ± 42 V.
- Filtros internos anti-aliasing seleccionables por software.
- Dos salidas analógicas de 12 bits, 4 MS/s en un solo canal, doble canal de 2.5 MS/s
- 8 líneas de E/S digitales; dos contadores de 24 bit; disparo analógico y digital
- El software de NI-DAQmx y software interactivo LabView SignalExpress para el registro de datos.

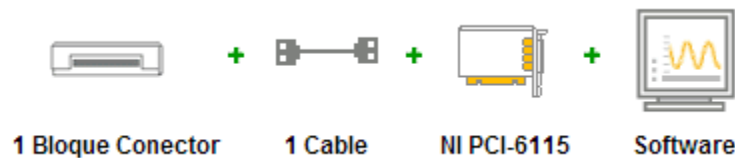


Figura 17. Elementos necesarios para la adquisición de la tarjeta NI PCI-6115 en la plataforma LabView

El dispositivo no tiene conectividad de señal directa, se necesita de un bloque conector (BNC 2110) que funciona como interfaz entre los sensores/señales y el dispositivo, este bloque conector proporciona fácil acceso a las entradas y salidas del Hardware.

3.2.2. Tarjeta de Adquisición de Datos NI PCI-5105: (ver Figura 18) [25]

Principales características de la tarjeta NI PCI-5105.

- 8 canales muestreados simultáneamente
- Velocidad de muestreo en tiempo real de 60Ms/s
- Resolución vertical de 12 bits
- Ancho de banda analógico de 60 MHz
- Memoria de capacidad hasta 512 MB para largos periodos de adquisición
- Rangos de entrada de 50mV a 30 mV



Figura 18. Elementos necesarios para la adquisición de la tarjeta NI PCI-5105 en la plataforma LabView

El dispositivo tiene conectividad de señal directa, solo necesita de un cable para transmitir los datos al dispositivo.

3.3. Procesamiento de Datos

El monitoreo de la respuesta en frecuencia con el transformador en servicio usando LabView transcurre desde el instante en que la plataforma adquiere los datos hasta el momento en que estos son completamente procesados.

- Adquisición: Para el caso de estudio, la entrada de datos en la plataforma LabView se puede realizar mediante dos opciones, usando la tarjeta de adquisición NI PCI-6115 o la tarjeta de adquisición NI PCI-5105, cada una de estas con su respectivo panel frontal para su correcta programación de los respectivos parámetros.
- Filtro Onda 60 Hz: para eliminar la frecuencia de 60 Hz que se encuentra en el sistema de potencia, se hace uso de la función “*WA Detrend.vi*” de LabView.
- Trigger (Ventana de Análisis): La información debe ser procesada y clasificada, para el correcto análisis FRA on-line. Se hace uso del módulo “*Trigger and Gate*”
- Filtro Denoising: se aplica determinada herramienta para la eliminación de ruido eléctrico en las señales de entrada (voltaje-corriente), se hace uso de la función “*WA Denoise.vi*”
- Procesamiento de datos: Utilizando la función MathScriptNode de LabView, se programó el algoritmo para calcular la respuesta en frecuencia por medio de la herramienta matemática FFT basado en lenguaje de Matlab.
- Respuesta obtenida: Visualización de la curva FRA on-line con determinadas funciones graficas de LabView.

3.4. Descripción de Etapas desarrolladas en LabView

3.4.1. Adquisición

La adquisición de datos es el primer paso para FRA on-line, los datos adquiridos (Voltaje-Corriente) son censados por una punta de alta tensión (Voltaje) y una bobina Rogowski (Corriente).

Las funciones para la adquisición y el envío de datos en LabView se realiza de manera paralela; el ajuste de todos los parámetros tales como muestreo, ancho de banda, tiempo de registro, canales, etc. para las tarjetas de adquisición (NI PCI-6115/ NI PCI-5105) son realizados en su respectivo panel frontal.

3.4.1.1. Adquisición NI PCI-6115

El uso principal del módulo DAQ Assistant como se presenta en la Figura 19, permitió la captura de señales a través de la tarjeta de adquisición de datos, con una amplia gama de opciones para modificar la frecuencia de muestreo, el tipo de señal que se va a medir (voltaje, corriente, temperatura, etc) y opciones para seleccionar el canal de la propia tarjeta.

En el caso de este trabajo de grado las señales que se midieron fueron de voltaje y corriente.

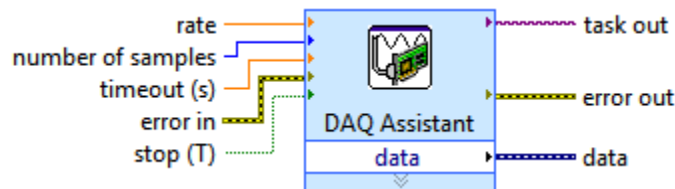


Figura 19. Adquisición por DAQ Assistant para la tarjeta NI PCI-6115

Para un mejor manejo de los parámetros necesarios para la adquisición se modificó el código del módulo DAQ Assistant.

Cada una de las etapas que comprenden la adquisición con la tarjeta de adquisición NI PCI-6115 se expone a continuación.

- ✓ **DAQmx Create Task.vi** : Crea una tarea y agrega canales virtuales. Se utiliza este VI dentro de un bucle para establecer una nueva tarea en cada iteración. (Ver Figura 20)

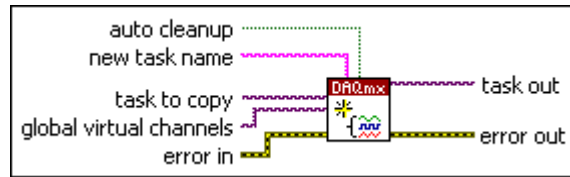


Figura 20. DAQmx Create Task.vi

- ✓ **DAQmx Create Channel (AI-Voltage-Basic):** Crea los canales para medir los datos de entrada (Voltaje-Corriente), con esta función se configuran todos los parámetros del canal según la necesidad del usuario, con accesibilidad desde el panel frontal. (Ver Figura 21)

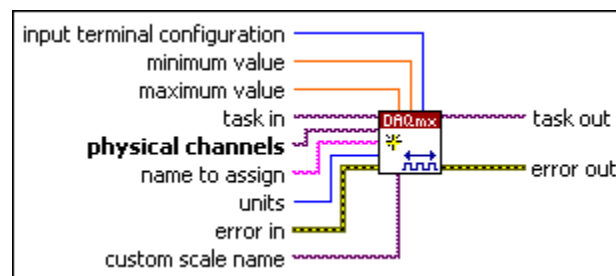


Figura 21. DAQmx Create Channel (AI-Voltage-Basic)

- ✓ **DAQmx Create Channel (TEDS-AI-Voltage-Basic):** Configuración del canal físico para la adquisición de los datos de entrada, según necesidades del usuario. (Ver Figura 22)

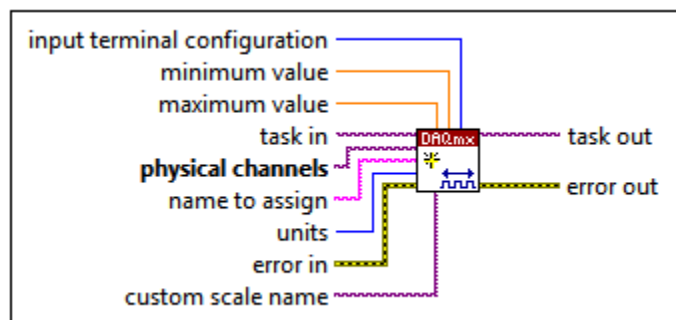


Figura 22. DAQmx Create Channel (TEDS-AI-Voltage-Basic)

- ✓ **DAQmx Timing (Sample Clock).vi:** Configuración de los parámetros de frecuencia de muestreo y número de muestras, para adquirir o generar según las necesidades del usuario. (Ver Figura 23)

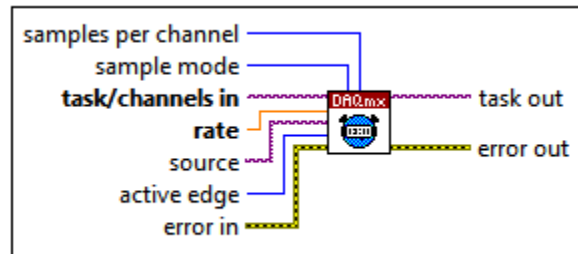


Figura 23. DAQmx Timing (Sample Clock).vi

- ✓ **DAQmx Control Task.vi:** Altera el estado de una tarea de acuerdo con la acción que se especifique. En error indica que se produjo una falla previamente, este VI se ejecuta con normalidad si la acción es anular la reserva o abortar. (Ver Figura 24)

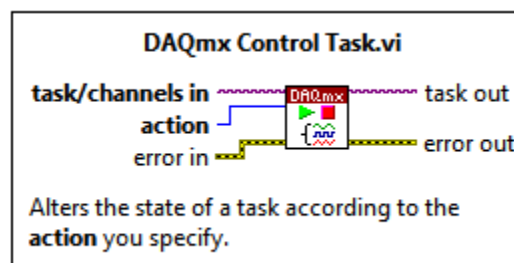


Figura 24. DAQmx Control Task.vi

- ✓ **DAQmx Read (Analog 1D Wfm NChan NSamp).vi:** Permite leer uno o múltiples canales, para posteriormente mostrarlos en la salida en una función gráfica. (Ver Figura 25)



Figura 25. DAQmx Read (Analog 1D Wfm NChan NSamp).vi

- ✓ **DAQmx Stop Task.vi:** Detiene la tarea y devuelve al Estado la tarea que se encontraba antes del inicio de la tarea. Si no se usa DAQmx Start Task.vi y DAQmx Stop Task.vi cuando se utiliza la DAQmx Read, como en un bucle, la tarea se inicia y se detiene varias veces. Iniciar y detener una tarea repetidamente reduce el rendimiento de la aplicación. (Ver Figura 26)

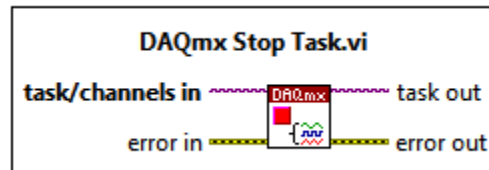


Figura 26. DAQmx Stop Task.vi

- ✓ **DAQmx Control Task.vi:** Altera el estado de una tarea de acuerdo con la acción que especifique. (Ver Figura 27)

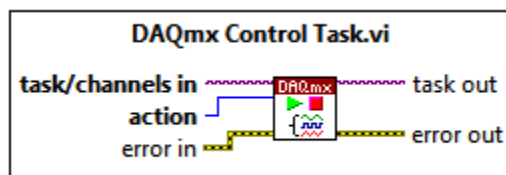


Figura 27. DAQmx Control Task.vi

3.4.1.2. Adquisición NI PCI-5105

Para adquirir las señales de Voltaje-Corriente con la tarjeta de adquisición NI PCI-5105 se utilizó el módulo NIScope indicado en la Figura 28, este módulo permite de forma sencilla y rápida configurar los diferentes parámetros según las necesidades del usuario.

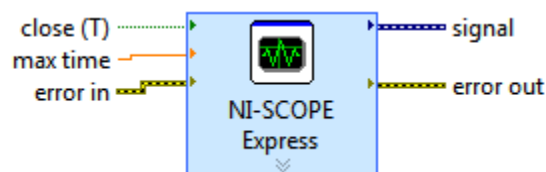


Figura 28. NIScope modulo usado para la Tarjeta NI PCI-5105

Del mismo modo que para el módulo DAQ Assistant. Se modificó el código para tener un acceso a los parámetros desde el panel frontal de la interfaz gráfica para el monitoreo.

Cada una de las etapas que comprenden la adquisición con la tarjeta de adquisición NI PCI-5105 se expone a continuación.

- ✓ **niScope initialize.vi** (Ver Figura 29) : Realiza las siguientes acciones
 - Crea una nueva sesión para el VI.
 - Abre una sesión al dispositivo que se especifica en el parámetro de nombre de recurso.
 - Restablece el instrumento a un estado conocido.
 - Ordena que se inicialice el VI al requisito estatal.



Figura 29. niScope initialize.vi

- ✓ **niScope Configure Horizontal Timming.vi**: Configura las propiedades comunes del subsistema horizontal para un solo registro o adquisición continua (multirecord). (Ver Figura 30)

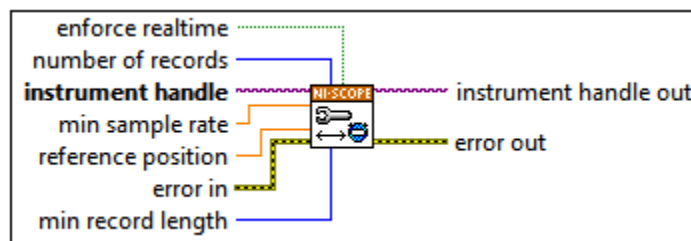


Figura 30. niScope Configure Horizontal Timming.v

- ✓ **niScope Configure Chan Characteristics.vi**: Configura las propiedades que controlan las características eléctricas del canal. Como la impedancia entre otras. (Ver Figura 31)

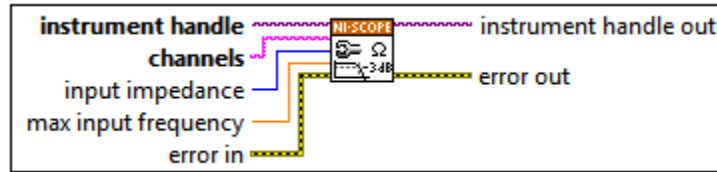


Figura 31. niScope Configure Chan Characteristics.vi

- ✓ **niScope Configure Vertical.vi:** Configura las propiedades del subsistema vertical, como el rango, el nombre del canal, etc. (Ver Figura 32).

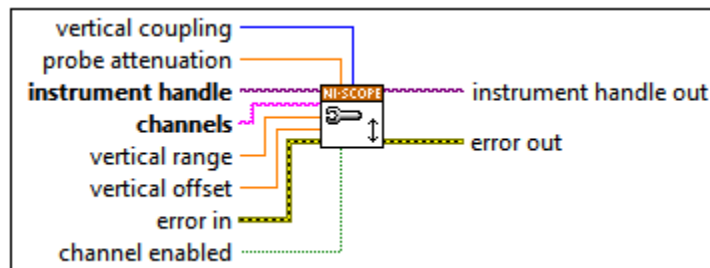


Figura 32. niScope Configure Vertical.vi

- ✓ **niScope Initiate Acquisition.vi:** Inicializa la adquisición de datos. (Ver Figura 33)

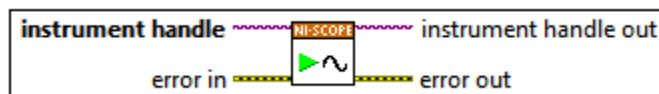


Figura 33. niScope Initiate Acquisition.vi

- ✓ **niScope Multi Fetch WDT.vi:** Permite modificar desde el panel frontal el orden del canal físico durante la adquisición, además de establecer el tiempo máximo de adquisición. (Ver Figura 34)

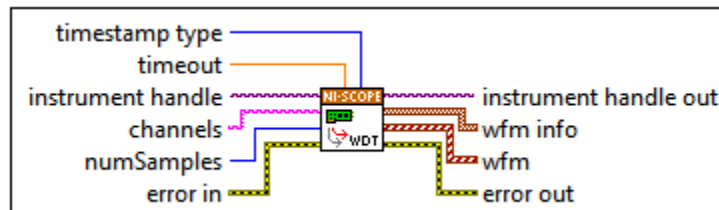


Figura 34. niScope Multi Fetch WDT.vi

✓ **niScope Close.vi** (Ver Figura 35): Realiza las siguientes acciones:

- Cierra el instrumento o la sesión.
- Destruye la sesión del VI y todas sus propiedades.
- Destruye cualquier recurso de memoria usado por la sesión del VI.



Figura 35. niScope Close.vi

3.4.2. Filtrado.

Con el objetivo de eliminar la onda de 60 Hz proveniente de la red eléctrica (aplicable para Colombia), se implementó un filtro basado en el análisis wavelet, para dicha tarea se usó la función “*WA Detrend.vi*” de LabView.

3.4.2.1 Función WA Detrend.vi para filtrar onda de 60 Hz.

Esta función (como se muestra en la Figura 36), elimina la señal de red (señales de 60 Hz de una dimensión) estableciendo los coeficientes de aproximación a cero.

Se debe especificar una *extensión* configurando el método a utilizar para los datos en las fronteras de la señal de entrada. La longitud de extensión es igual a la longitud de los filtros de onda.

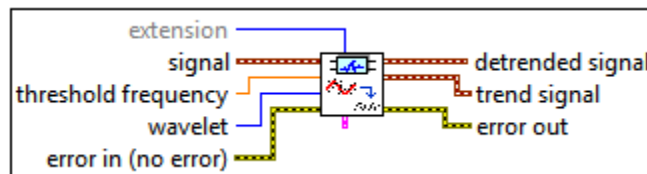


Figura 36. WA Detrend.vi

La longitud de la extensión tiene diferentes opciones:

- Zero padding: utiliza ceros para rellenar los datos de entrada
- Simétrica (predeterminado): Utiliza repeticiones de los datos de entrada para rellenar los datos.

- Periódico: agrega una réplica del bloque de entrada de datos antes y otra después de la replicación del bloque de entrada de datos para rellenar los datos. Esta opción es la que se utiliza para el caso de estudio.

Al configurar la frecuencia de Umbral se especifica el límite superior de frecuencia, en Hertz, de la tendencia de que este VI elimina de la señal, en este caso se determinó una frecuencia Umbral de 600 Hz. La frecuencia umbral determina el nivel de la transformada wavelet DB10. El nivel de la transformada wavelet especifica el número de niveles en el análisis wavelet discreta.

La función *WA Detrend.vi* permite devolver tanto la tendencia residual de la señal como la señal sin la tendencia, para el caso del estudio presente proyecto nada más se requiere la tendencia residual.

Como parte adicional se implementó otro filtro para mejorar la onda resultante, también haciendo uso de la función *WA Detrend.vi* los parámetros configurados fueron los siguientes:

Extensión: Zero padding

Frecuencia de Umbral: 1000 Hz

Wavelet: bior2_4

3.4.3. Etapa de porción de señal.

Para un ahorro de la memoria de buffer y un mejor rendimiento de la aplicación, se programó una etapa para extraer una parte de la señal adquirida para posteriormente aplicarle un trigger y analizar los datos, la configuración de dicho trigger se expone más adelante.

3.4.3.1. Módulo Extract Portion of Signal

Extrae partes de los datos de las señales de entrada y devuelve los datos extraídos. Puede extraer un solo punto o una serie de datos, y se pueden extraer los datos por tiempo o por índice. También puede encontrar el tiempo y el índice de la primera aparición de un valor. El modulo se muestra en la Figura 37

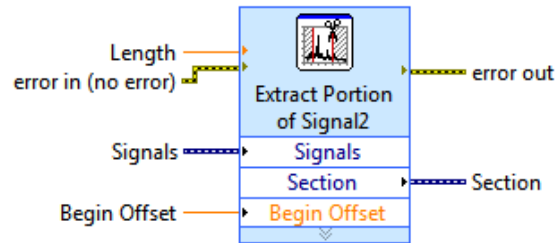


Figura 37. Extract Portion of Signal

3.4.4. Etapa de Trigger

Para el análisis FRA del transformador se necesita analizar cierta ventana de los datos, por lo que se hace necesario programar un Trigger que detecte una magnitud en la señal que supere cierto límite después de realizar el proceso de filtrado, este se ejecuta de forma automática y extrae el segmento de información deseada.

3.4.4.1 Módulo Trigger and Gate

Usa una activación automática para extraer un segmento de una señal. Las condiciones de activación se basan en un principio o umbral de disparo de parada o puede ser estática. Cuando una condición de disparo es estático, el disparo se produce inmediatamente y este VI Express devuelve un número predefinido de muestras.

Para este proyecto se especificó una ventana de trigger que comienza con una detección de un pico o nivel de start de 0.1 en el eje (y), con un numero de muestras especifico (10000) para un tiempo de 0.01 s. el Trigger actúa simultáneamente para las dos señales pero la configuración es aplicada solo para la señal de voltaje. (Ver Figura 38)

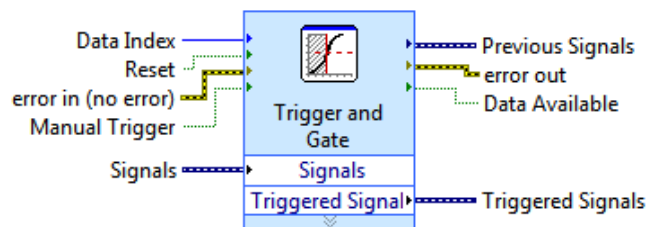


Figura 38. Trigger and Gate

3.4.5. Filtrado Denoising (segunda etapa de filtrado).

Para eliminar el ruido presente en las señales aun teniendo el filtrado de 60 Hz, denominado ruido de fondo, se implementó un filtro digital utilizando la técnica de

Denoising con transformada Wavelet discreta. Para ello se utilizó como wavelet madre la Daubechies (Db) de orden 10 entre otros parámetros que se especifican más adelante.

Resulta de gran importancia para el filtrado denoising la atenuación “inteligente”, la cual consiste en eliminar el ruido que no ponga en peligro las características destacadas de las señales, que servirán, en última instancia, para determinar los parámetros adecuados para el análisis FRA.

3.4.5.1 Función WA Denoise.vi

La función como se muestra en la Figura 39, lleva a cabo la reducción de ruido para señales 1D o 2D utilizando la transformada discreta wavelet (DWT) o undecimated transformada wavelet (UWT). Se selecciona manualmente la instancia polimórfica de usar.

Para tal objetivo se especifican los valores de los coeficientes de umbralización de aproximación y los coeficientes de detalle de la descomposición wavelet, por medio de la “*configuración de los umbrales*”, entrada que proporciona dicho modulo.

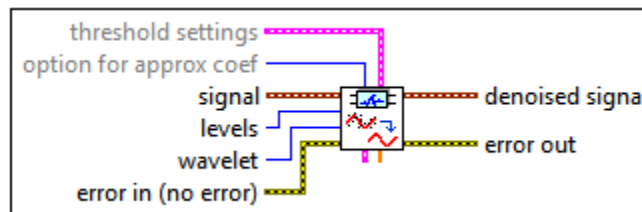


Figura 39. WA Denoise.vi

- **SURE** (predeterminado)-utiliza el principio de estimación de riesgos imparcial Stein (SURE) para estimar el umbral.
- **Hybrid** -Encuentra un compromiso entre el método seguro y el método Universal. Cuando la relación señal-ruido de la señal de ruido es muy baja, este VI utiliza el método universal para estimar el umbral.
- **Universal** -Ajusta el umbral a $\sqrt{2 \times \log(L_s)}$, donde L_s es la longitud de la señal. Predeterminado para el presente proyecto.
- **Minimax**: utiliza el principio minimax para calcular el umbral.

Por el *método de cambio de escala*, se especifica el método a utilizar para estimar la varianza del ruido en cada nivel. Este VI utiliza la diferencia de ruido para reescalar el umbral. Por lo tanto, puede actualizar los umbrales con la diferencia de ruido. Si se especifica un valor para los umbrales definidos por el usuario, este VI ignora los ajustes de método de cambio de escala.

- **Uno:** especifica que el ruido es blanco con varianza unitaria.
- **Nivel individual** (por defecto)-Especifica que el ruido es blanco. Este VI estima la desviación estándar del ruido de los coeficientes de tren de ondas en el primer nivel. Predeterminado para el presente proyecto.
- **Múltiples niveles:** especifica que el ruido no tiene por qué ser blanco. Este VI calcula la desviación estándar del ruido en cada nivel de forma independiente.

El modulo permite escoger que tipo de umbral se necesita, por predeterminado en estado TRUE el vi indica que utiliza el método de umbralizacion suave por el contrario se usara el método de umbralizacion fuerte.

Gracias a la *opción para coef aprox* se especifica la operación para los coeficientes de aproximación de la descomposición wavelet. Si se especifica un valor para los umbrales definidos por el usuario, este VI ignora los ajustes de opción para coef aprox.

- **Ninguno** (predeterminado)-no se genera el cambio de los coeficientes de aproximación.
- **Umbral:** se aplica la operación de umbralización mismo a los coeficientes de aproximación.
- **Detrend** -Establece los coeficientes de aproximación a 0. Predeterminado para el presente proyecto.

En los *niveles* se especifica el número de niveles en el análisis wavelet discreta. niveles debe ser un número entero positivo no mayor que $\log_2(L_s)$, donde L_s es la longitud de la señal de 1D o el tamaño mínimo dimensional de la señal 2D.El valor predeterminado es -1, que indica que este VI establece los niveles como el mayor entero no mayor que $\log_2(L_s)$. Para el presente proyecto se determina un nivel 10.

Por último se especifica el tipo de wavelet a utilizar para el análisis wavelet discreta. El valor predeterminado es Db02. Cuanto mayor es el orden, más suave será la wavelet. Para el análisis FRA se escoge DB10.

3.4.6. Procesamiento de Señales.

Los datos adquiridos y filtrados son convertidos de forma dinámica a forma numérica, con el objetivo de ser procesados en la función MathScript Node de LabView en donde se programó la ejecución de la FFT siguiendo líneas de Matlab.

3.4.6.1 Función MathScript Node

En esta función (Figura 40) se utiliza para ejecutar secuencias de comandos, ingresando escritura que puede contener funciones integradas MathScript y funciones definidas por el usuario, añadiendo variables de entrada y salida se permite hacer el análisis FRA de los datos adquiridos, primero convirtiéndolos a datos numéricos y en las salidas recuperándolos a datos dinámicos para ser mostrados en gráficas.

Cuando se crea una LabVIEW MathScript, debe utilizar tipos de datos compatibles, para cumplir con esto se trató de manera especial cada dato ingresado para no tener inconvenientes a la hora de la ejecución.

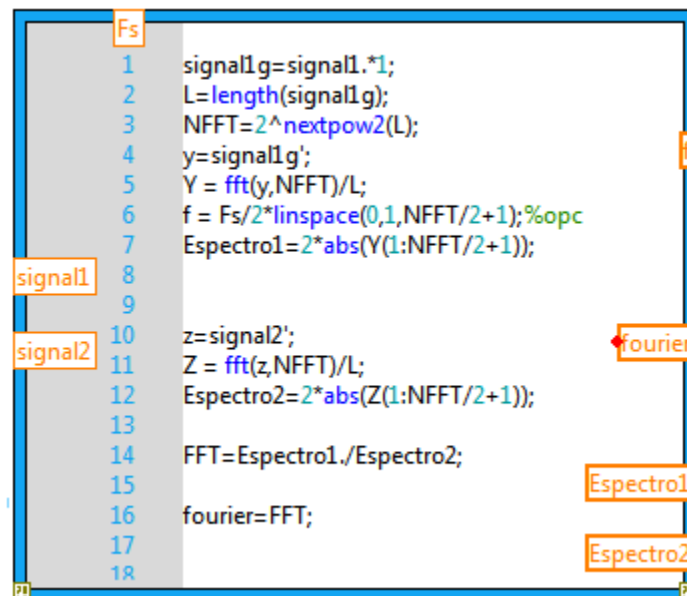


Figura 40. MathScript Node

3.4.6.2 Función Convert from Dynamic Data

Convierte el tipo de datos dinámicos a numérico, Boolean, forma de onda, y los tipos de datos de matriz para su uso con otros VIs y funciones. (Ver Figura 41)

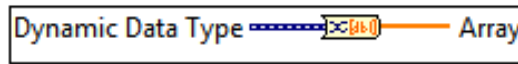


Figura 41. Convert from Dynamic Data

3.4.6.3 Función Convert to Dynamic Data

Convierte numérico, Boolean, forma de onda y el tipo de datos de matriz al tipo de datos dinámico para su uso con Express VIs. (Ver Figura 42)

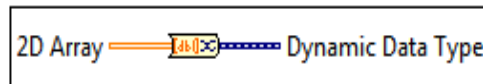


Figura 42. Convert to Dynamic Data

3.4.7. Visualización de Respuestas.

El objetivo de la interfaz gráfica es poder visualizar de manera continua la respuesta en frecuencia del transformador, después de todas las etapas descritas anteriormente y al convertir los datos numéricos procesados en el MathScript, a datos dinámicos, se puede mostrar de forma gráfica el análisis FRA del transformador.

3.4.7.1 Módulo Build XY Graph

Los formatos de los datos adquiridos se muestran en un gráfico XY (ver modulo Figura 43), con una Especificación especial que consiste en borrar los datos de cada llamada, que pretende eliminar los datos en la gráfica cada vez que el VI Express se llama durante la ejecución. Independientemente del valor de datos claros sobre cada llamada, el VI Express borra los datos en el gráfico de la primera vez que se llama durante la ejecución, de este modo se puede visualizar de manera continua los cambios que se presentan en la curva FRA durante un tiempo determinado.

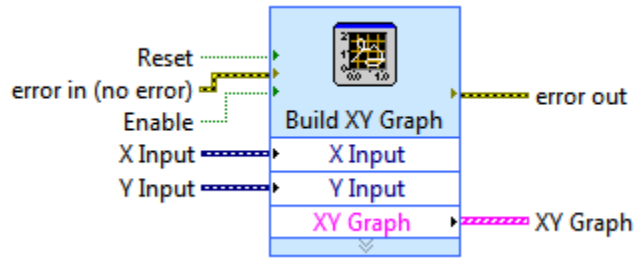


Figura 43. Build XY Graph

3.5. Proceso de adquisición y análisis en Matlab (Procesamiento de señal usado anteriormente)

Se tenía implementado un código en Matlab para el análisis de la respuesta en frecuencia de un transformador estando en servicio [6], el cual permitía procesar las señales de corriente y voltaje provenientes del transformador, sin embargo el proceso demandaba un tiempo considerable desde la adquisición hasta obtener la curva de FRA. Por lo cual fue necesario el desarrollo del trabajo de grado donde se usa LabView para monitorear el transformador mediante FRA on-line. A continuación se hace una pequeña descripción del proceso utilizado.

3.5.1. Proceso de Adquisición plataforma Matlab

La adquisición de los datos se hacía utilizando el software interactivo Signal Express de LabView tanto para la tarjeta de adquisición NI PCI-6115 como para la NI-PCI 5105, para el correcto funcionamiento de la aplicación se debía establecer unos parámetros en diferentes funciones para NI PCI-6115 DAQmx Acquire (Ver Figura 44) y para NI-PCI 5105 NI-SCOPE Acquire (Ver Figura 45).

Después de establecer todos los parámetros necesarios y haber escogido una de las dos tarjetas, se adquirirían los datos dinámicos, para posteriormente exportarlos a datos numéricos en un archivo Excel, a dicho archivo se le hacían algunas modificaciones para poder convertir dicha extensión a una que pueda ser leída y procesada por la plataforma de Matlab en este caso una extensión (.m).

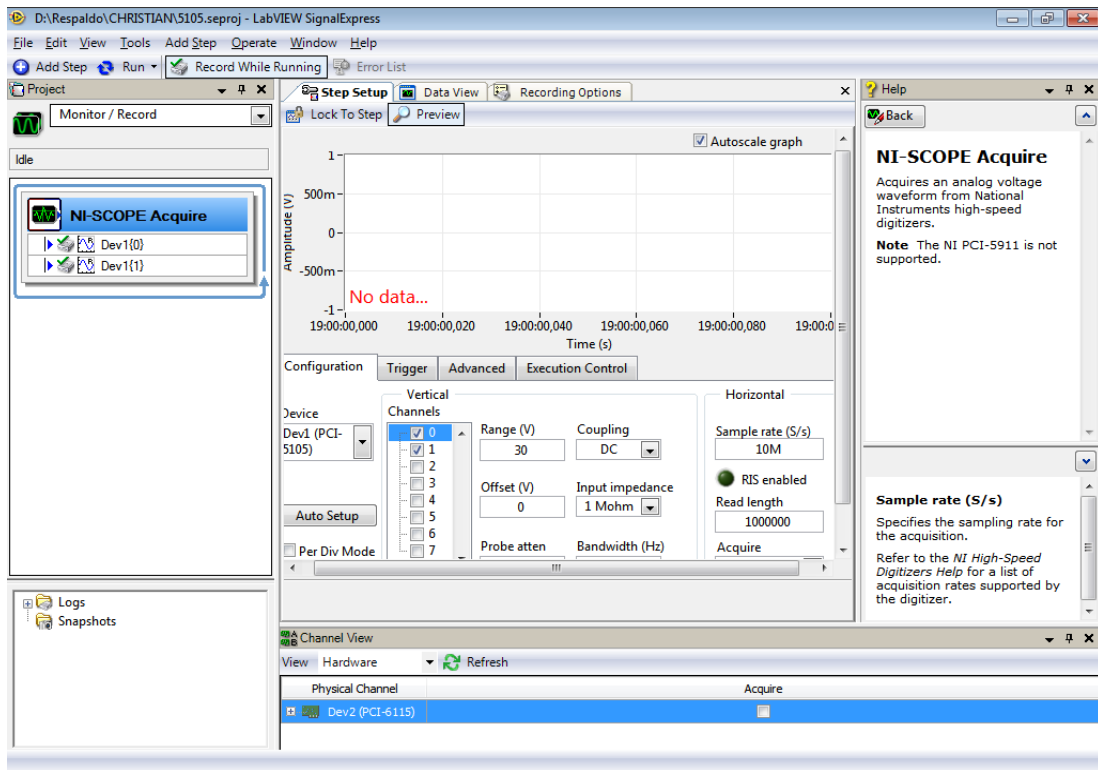


Figura 44. NI-SCOPE Acquire

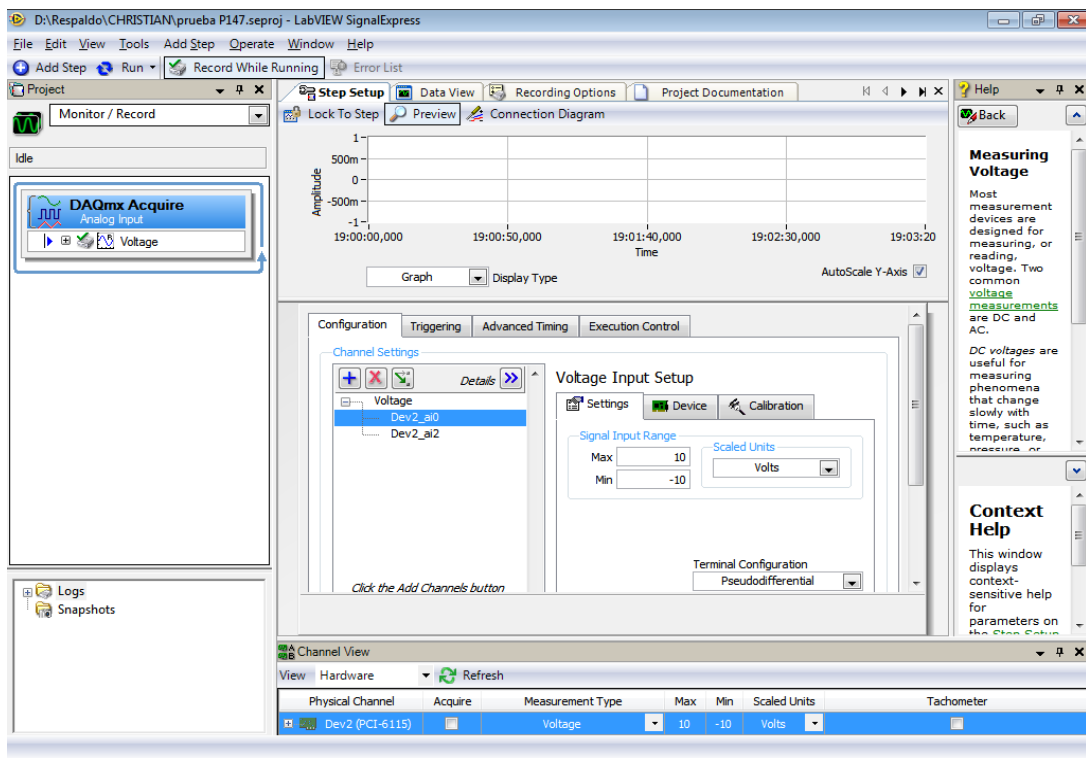


Figura 45. DAQmx Acquire

3.5.2. Proceso de análisis en la plataforma Matlab (GUI)

Después de tener los archivos con las señales adquiridas con extensión (.m), se llamaban desde una plataforma GUI [6] (Ver Figura 46), en donde se permitían hacer el análisis paso por paso o completo para poder visualizar la curva FRA.

El tiempo que demandaba todo el proceso desde la adquisición hasta mostrar la curva FRA, sobrepasaba los 5 minutos.

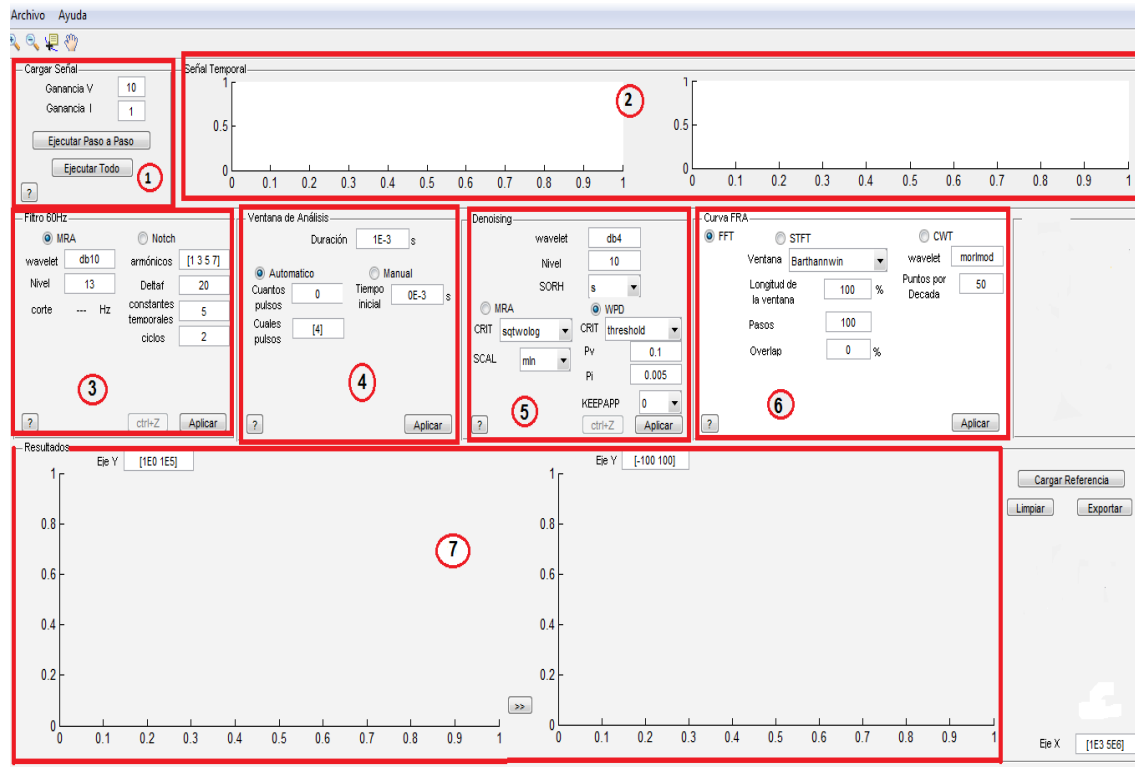


Figura 46. Plataforma GUI Matlab

- **Parte 1.** Cargar señales temporales: Se cargan los archivos .MAT de Matlab de voltaje y corriente, donde se pueden ajustar las ganancias de las respectivas señales.
- **Parte 2.** Visualizar las señales temporales
- **Parte 3.** Filtrar la señal de 60 Hz: Elimina la señal de potencia (60 Hz), utilizando la transformada wavelet.
- **Parte 4.** Ventana de análisis: Permite seleccionar los pulsos de voltaje y corriente IFRA en ventanas de 1 ms, los cuales son necesarios para obtener FRA.

- **Parte 5.** Denosing: Esta parte permite eliminar el ruido de fondo del sistema eléctrico cuando se analizaban señales on-line. En esta parte se utiliza de igual manera la transformada Wavelet como herramienta matemática.
- **Parte 6.** Tratamiento matemático de FRA: Se realiza por medio de las transformadas FFT, STFT y Wavelet.
- **Parte 7.** Visualización de las curvas de la respuesta en frecuencia.

3.6. Ventajas de programar en LabView

El concepto de instrumentación virtual implica adquisición de señales, el procesamiento, análisis, almacenamiento, distribución y despliegue de los datos e información relacionados con la medición de una o varias señales, interfaz hombre-máquina, visualización, monitoreo y supervisión remota del proceso, la comunicación con otros equipos entre otras características.

Todas y cada uno de las anteriores exigencias son cumplidas por la plataforma LabView, permitiéndose consolidarse como un instrumento virtual.

Cuando se compara la instrumentación virtual y convencional generalmente se tiene en cuenta el proceso de censado, este consiste en la asignación de números a las propiedades de los objetos o acontecimientos del mundo real, de forma que se obtenga una descripción de los mismos.

Desde el punto de vista de la instrumentación tradicional o convencional un instrumento de censado es un dispositivo capaz de recoger señales de campo y proporcionar medidas hacia un dispositivo controlador. Desde el punto de vista de instrumentación virtual, la computadora mediante el hardware necesario recoge dichas señales de campo y las procesa, por lo tanto la computadora se convierte en el dispositivo para medir y controlar el proceso.

La Versatilidad de LabView permite una conectividad continua para un monitoreo eficiente, dentro de unos parámetros que pueden ser modificados por el usuario, permitiendo gobernar el comportamiento del programa y/o sistema.

En la Tabla 2 se presenta una comparación de la interfaz gráfica en LabView frente al proceso que se llevaba con la plataforma Matlab.

Etapas		Matlab	LabView
Adquisición	NI PCI - 6115	DAQ Assistant on-line la adquisición se realizó en tiempo continuo y se guardaban los datos en un documento de EXCEL	DAQ Assistant on-line adquisición en tiempo continuo, sin necesidad de exportar datos y enviando datos dinámicos para posterior procesado.
	NI PCI - 5105	NIScope on-line la adquisición se realizó en tiempo continuo y se guardaban los datos en un documento de EXCEL	NIScope on-line adquisición en tiempo continuo, sin necesidad de exportar datos y enviando datos dinámicos para posterior procesado.
Visualización Señales temporales		Ventanas para visualizar las señales temporales de voltaje y corriente, en la misma ventana se observan las señales: adquiridas y posteriormente filtradas. No es en forma continua y se pierden los datos gráficos de las señales.	Ventanas para visualizar las señales temporales de voltaje y corriente en un mismo plano y de forma independiente además en otras ventanas se puede visualizar las señales ya filtradas y su respuesta en frecuencia, todo esto siempre en forma continua.
Filtro 60 Hz		Elimina la señal de potencia (60 Hz), utilizando la transformada wavelet. Wavelet : db 10/Nivel: 13	Elimina la señal de potencia (60 Hz), utilizando la transformada wavelet. Extensión: Periodico/Frecuencia de Umbral: 600 Hz/Wavelet: db 10 Adicional : Extensión: Zero padding/Frecuencia de Umbral: 1000 Hz/Wavelet: bior2_4
Ventana de análisis		Permite seleccionar los pulsos de voltaje y corriente IFRA en ventanas de 1 ms, los cuales son necesarios para obtener FRA.	Se especificó una ventana de trigger que comienza con una detección de un pico o nivel de start de 0.1 en el eje (y), con un numero de muestras específico (10000) para un tiempo de 0.01 s. con esto se seleccionan los pulsos para el posterior procesamiento, además se programó una etapa de porción de señal para evitar problemas de buffer y optimizar la aplicación en tiempo continuo.

Denosing		Elimina el ruido de fondo del sistema eléctrico cuando se analizaban señales on-line. En esta parte se utiliza de igual manera la transformada Wavelet como herramienta matemática. Wavelet db 10/ Nivel 10 / sorh Sure	Se implementó un filtro digital utilizando la técnica de Denoising con transformada Wavelet discreta. Wavelet db 10/ Nivel 10 / sorh Universal / Escala Nivel individual / Umbralización suave / coef aprox Detrend
Tratamiento matemático		Se realiza por medio de las transformadas FFT. STFT y Wavelet.	Se realiza por medio de la transformada FFT
Visualización de las curvas		Ventana para visualizar la curva del análisis de respuesta en frecuencia	Ventana para visualizar la curva del análisis de respuesta en frecuencia en tiempo continuo.

Tabla 2. Análisis comparativo Matlab Labview

3.7. Resumen

En este capítulo se presenta de manera ordenada cada una de las etapas que comprende la interfaz gráfica para el monitoreo del transformador estando en servicio permitiendo visualizar su respuesta en frecuencia, curva FRA on-line.

Se describen las funciones y módulos empleados para cumplir con los objetivos del proyecto, además de los parámetros utilizados para la programación permitiendo una correcta adquisición y tratamiento de señales para un posterior procesamiento matemático y visualización gráfica de respuestas.

Se describe de forma resumida el proceso de adquisición y procesamiento matemático utilizado un software implementado con anterioridad haciendo uso de la plataforma de Matlab, destacando algunas desventajas frente a la Programación en LabView.

Por último se expone el término de instrumentación virtual, para describir una ventaja característica de la plataforma LabView y su función que cumple en este proyecto, para el monitoreo del transformador.

4. Capítulo IV.

4. ANALISIS Y VALIDACION DE RESULTADOS

4.1. INTRODUCCION

Haciendo uso de la interfaz gráfica desarrollada en LabView, se obtienen resultados experimentales de la medida Off-Line y On-Line de la respuesta en frecuencia de varios transformadores bajo prueba. Los resultados son comparados, con la curva FRA obtenida con el proceso de Matlab, y con la curva FRA obtenida con el equipo FRAX, que para el caso del proyecto son en realidad las curvas de referencia para un análisis cualitativo.

4.2. Configuración montaje experimental

el montaje experimental como se muestra en la Figura 5, consta de un transformador, la carga (resistencia variable), un variac con el cual se energiza el transformador, un circuito electrónico externo (para la inyección del pulso controlado), sensores de medida, un computador el cual incluye la tarjeta de adquisición NI PCI-5105 y la tarjeta de adquisición NI PCI-6115 (esta consta de un conector para la recepción de las señales), el software necesario para el procesamiento de las señales, para el presente proyecto se utilizó el paquete LabView.

Cabe resaltar que en la interfaz gráfica desarrollada en LabView se puede mostrar la respuesta por determinado tiempo o tiempo continuo, lo que quiere decir que se puede ver el cambio de la curva ante los diferentes pulsos adquiridos, siempre mostrando cierta repetitividad en la respuesta.

4.2.1. Análisis de resultados obtenidos off-line

Las características eléctricas del primer transformador bajo prueba se reportan en la Tabla 3.

Valores Nominales	
Potencia (VA)	400
V_{Primario} (V)	0-120
$V_{\text{Secundario}}$ (V)	0-44
I_n (A) Primaria	3,3
I_n (A) secundaria	9

Tabla 3. Características eléctricas primer transformador

La configuración del montaje experimental para las siguientes respuestas (ver Figura 47, Figura 48, Figura 49, Figura 50), consistió en inyectar el pulso por el devanado de Baja del transformador, manteniendo el devanado de alta en vacío, la medición para el registro de los datos se hizo por el devanado de Baja.

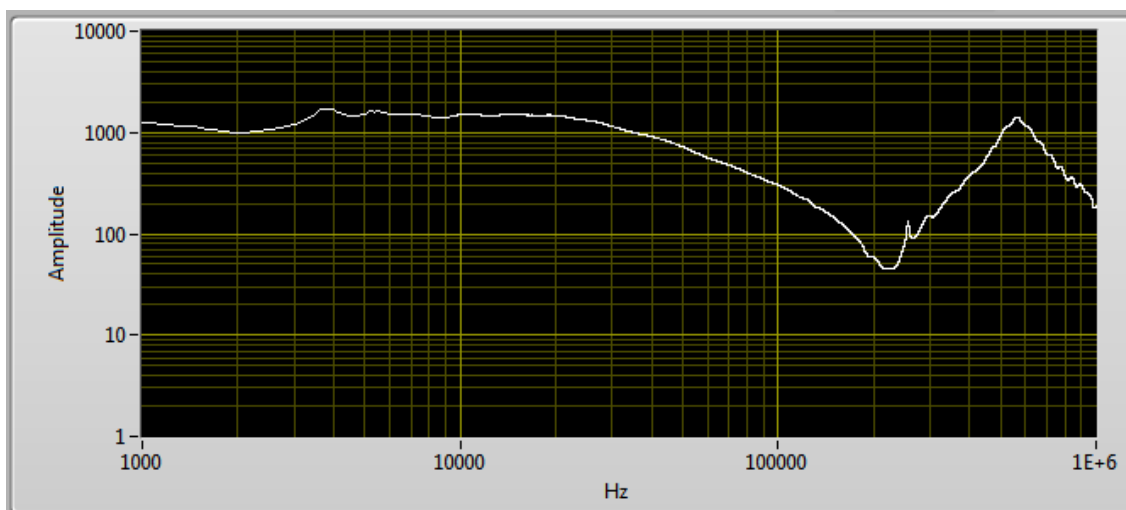


Figura 47. Curva FRA 400VA B_AA Panel Frontal Interfaz LabView

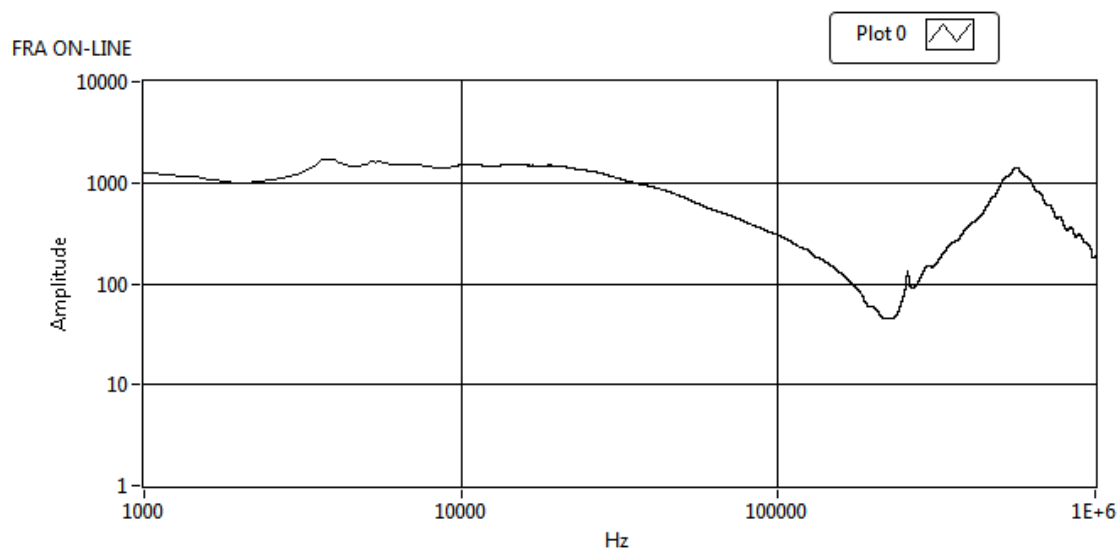


Figura 48. Curva FRA 400VA B_AA Exportada Interfaz LabView

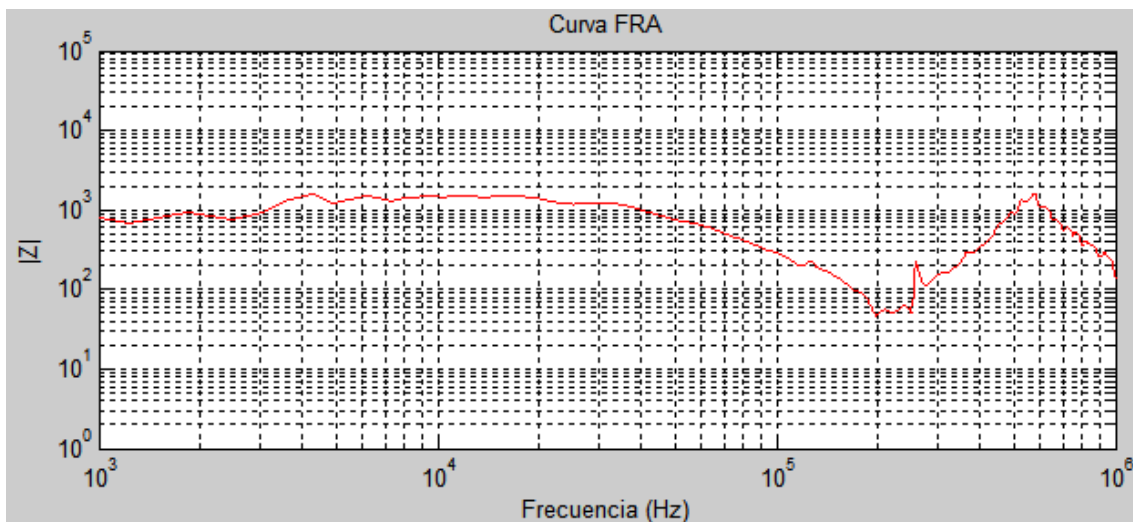


Figura 49. Curva FRA 400VA B_AA Algoritmo Matlab

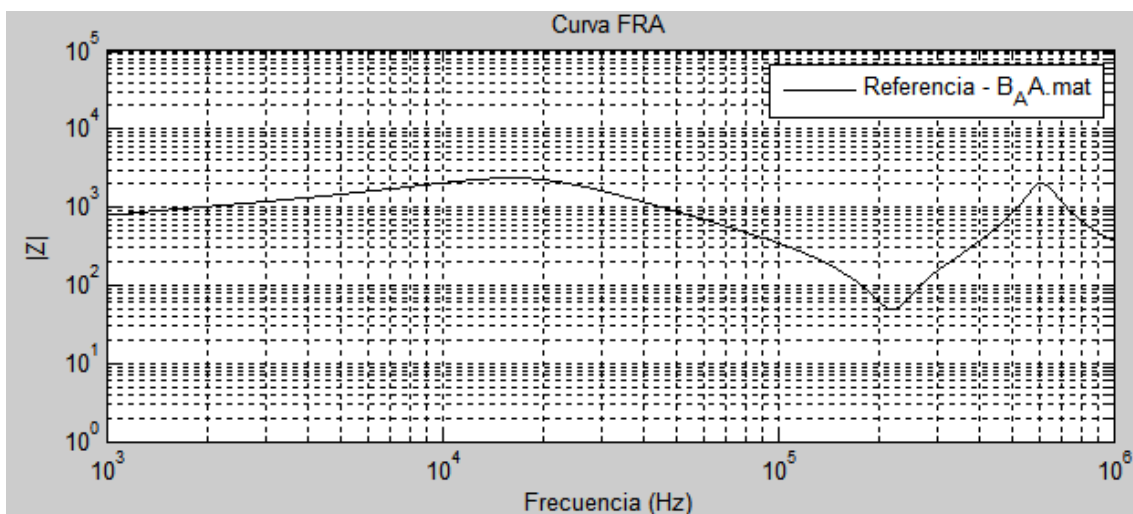


Figura 50. Curva FRA 400VA B_AA Referencia FRAX

La configuración del montaje experimental para las siguientes respuestas (ver Figura 51, Figura 52, Figura 53, Figura 54), consistió en inyectar el pulso por el devanado de Baja del transformador, manteniendo el devanado de alta en corto, la medición para el registro de los datos se hizo por el devanado de Baja.

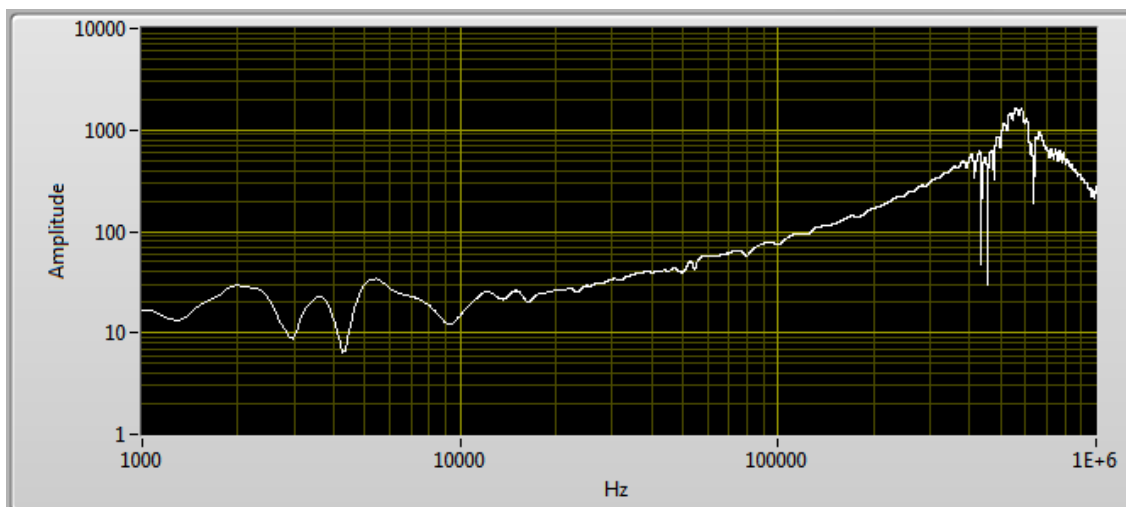


Figura 51. Curva FRA 400VA B_AC Panel Frontal Interfaz LabView

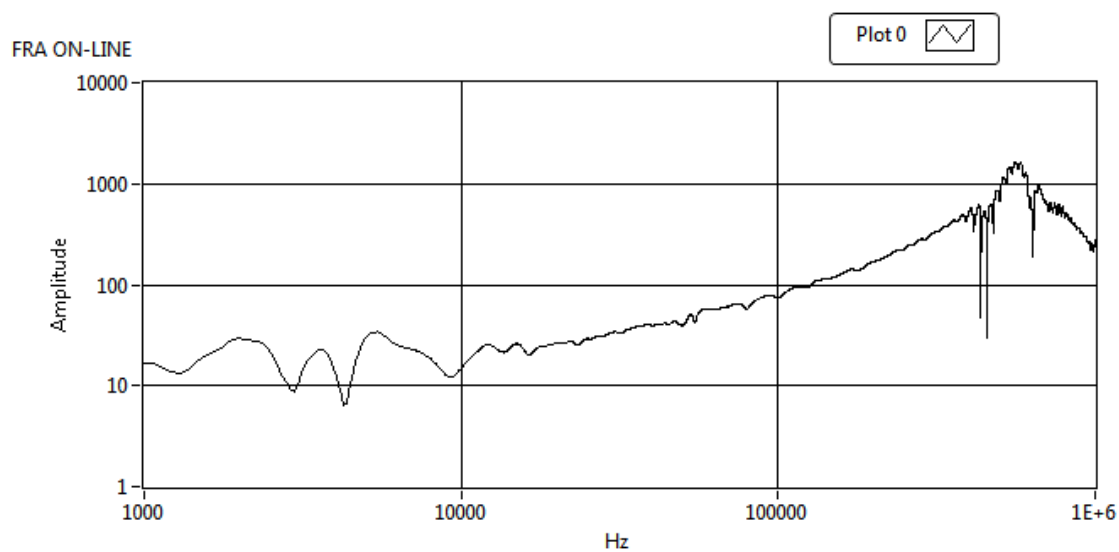


Figura 52. Curva FRA 400VA B_AC Exportada Interfaz LabView

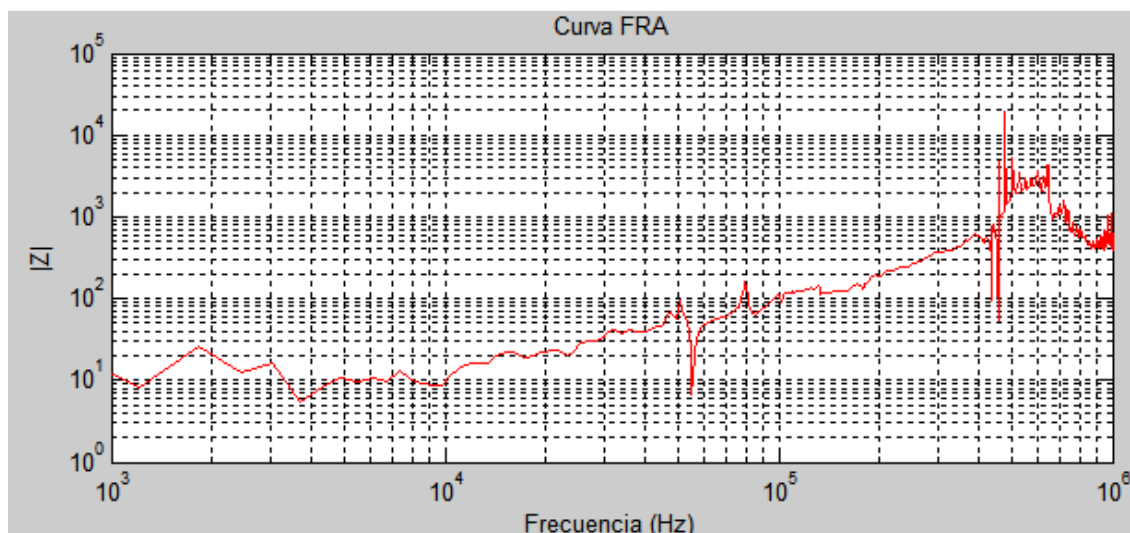


Figura 53. Curva FRA 400VA B_AC Algoritmo Matlab

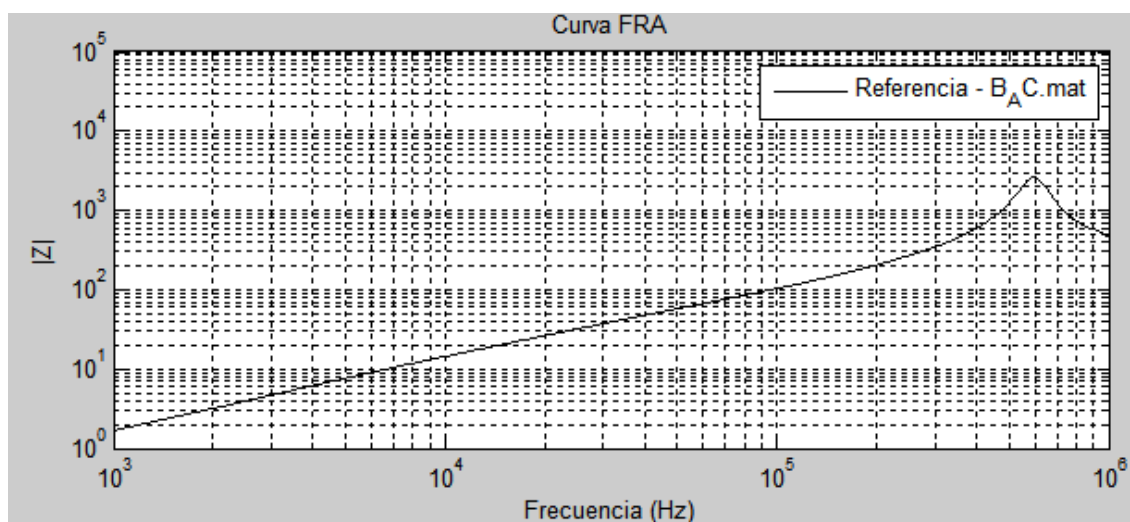


Figura 54. Curva FRA 400VA B_AC Referencia FRAX

La configuración del montaje experimental para las siguientes respuestas (ver Figura 55, Figura 56, Figura 57, Figura 58), consistió en inyectar el pulso por el devanado de Alta del transformador, manteniendo el devanado de Baja en vacío, la medición para el registro de los datos se hizo por el devanado de Alta.

Los resultados obtenidos muestran que la curva obtenida por la interfaz de LabView sigue la misma trayectoria de la curva de Referencia aunque presenta cierta deformidad, sin embargo al compararla con el algoritmo de Matlab se puede observar que esta curva también posee cierta deformidad.

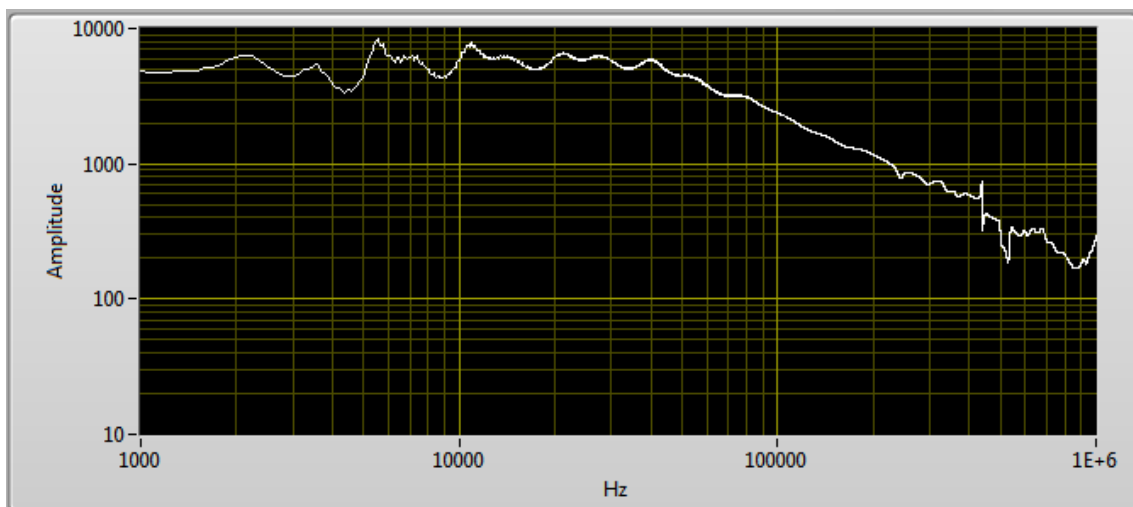


Figura 55. Curva FRA 400VA A_BA Panel Frontal Interfaz LabView

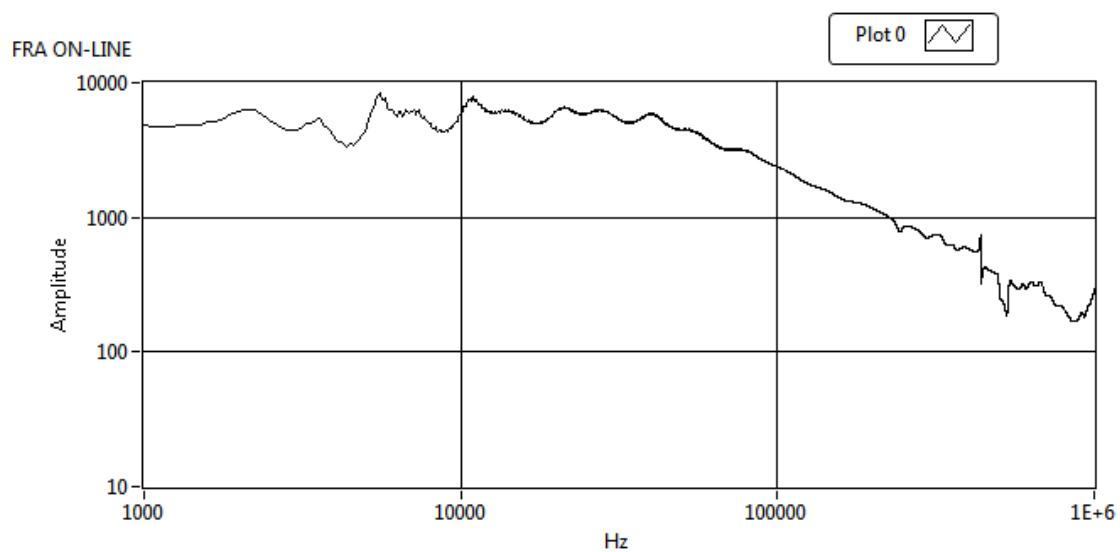


Figura 56. Curva FRA 400VA A_BA Exportada Interfaz LabView

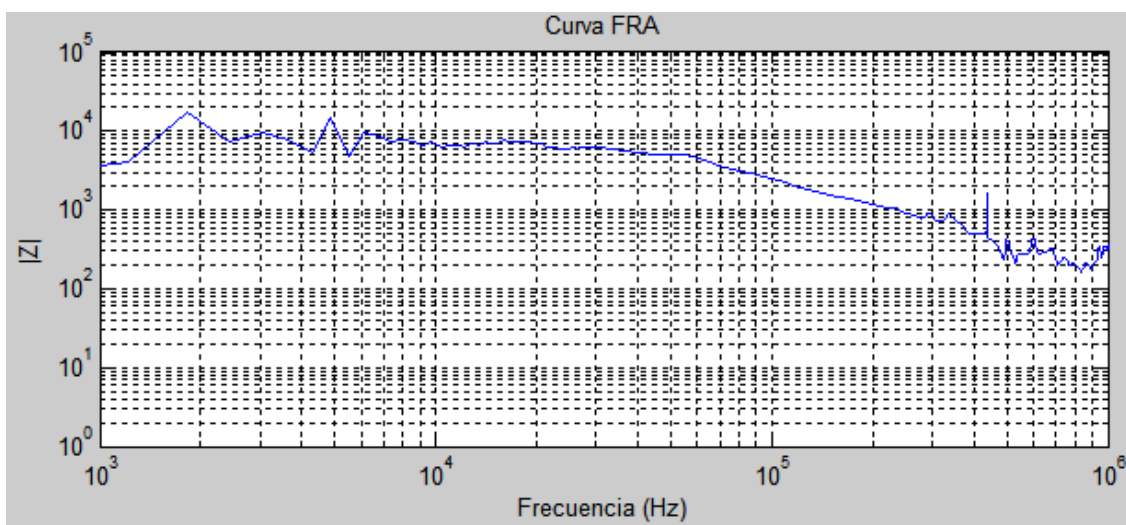


Figura 57. Curva FRA 400VA A_BA Algoritmo Matlab

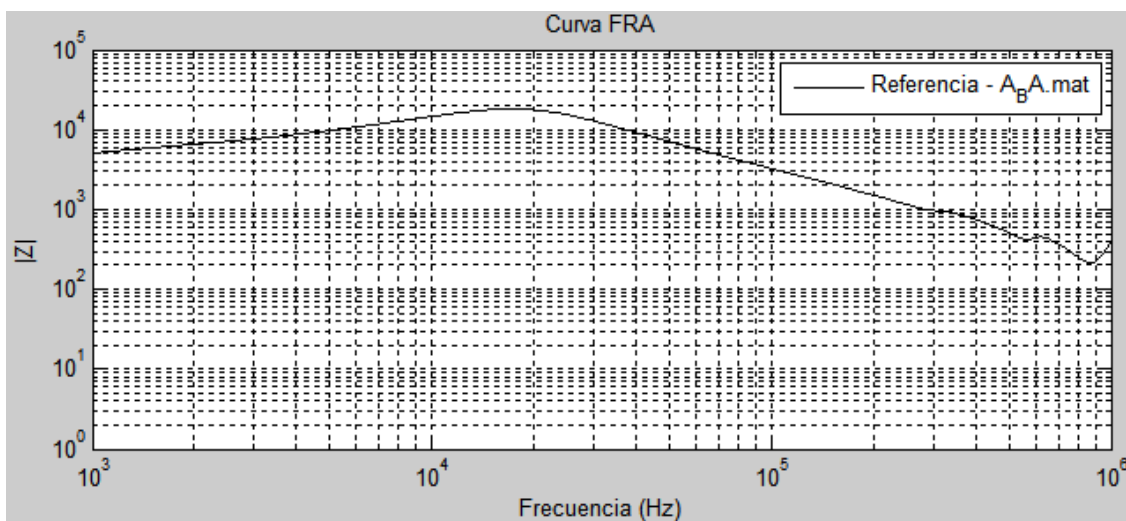


Figura 58. Curva FRA 400VA A_BA Referencia FRAX

La configuración del montaje experimental para las siguientes respuestas (ver Figura 59, Figura 60, Figura 61, Figura 62), consistió en inyectar el pulso por el devanado de Alta del transformador, manteniendo el devanado de Baja en corto, la medición para el registro de los datos se hizo por el devanado de Alta.

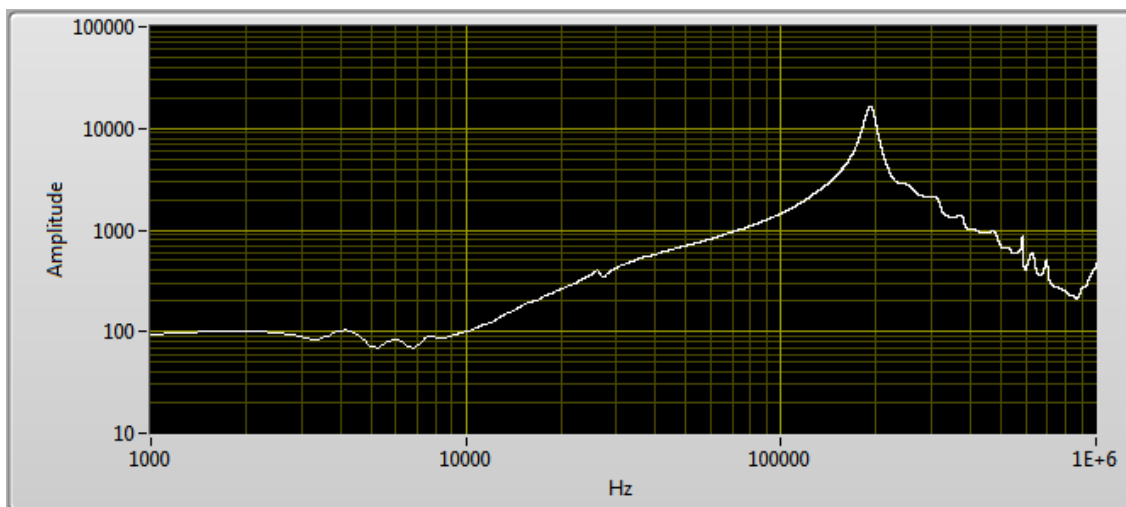


Figura 59. Curva FRA 400VA A_BC Panel Frontal Interfaz LabView

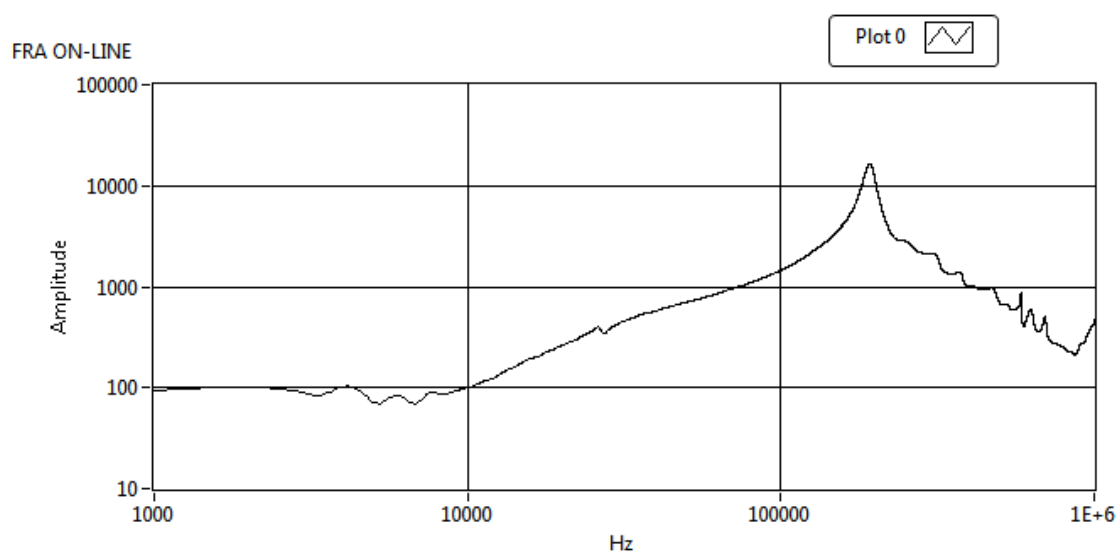


Figura 60. Curva FRA 400VA A_BC Exportada Interfaz LabView

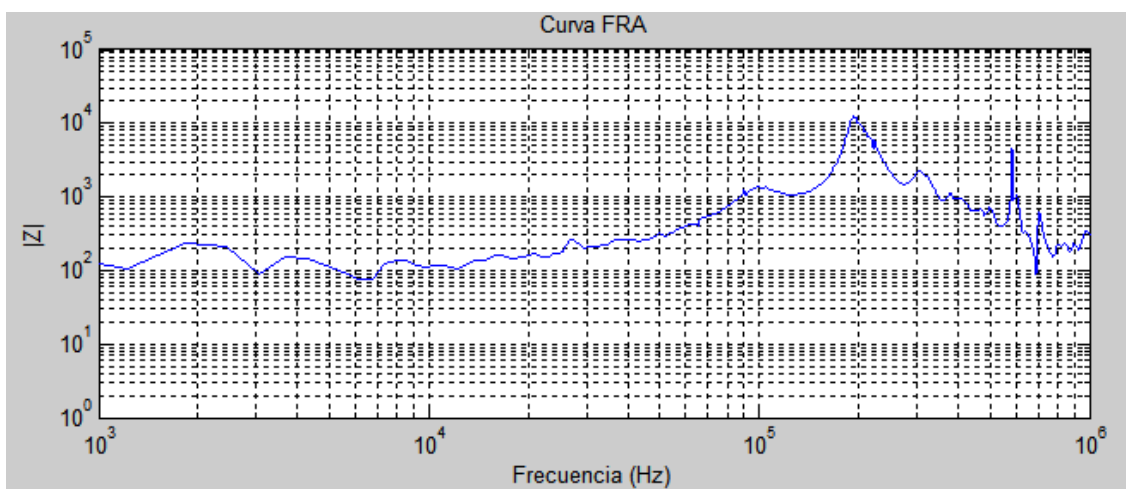


Figura 61. Curva FRA 400VA A_BC Algoritmo Matlab

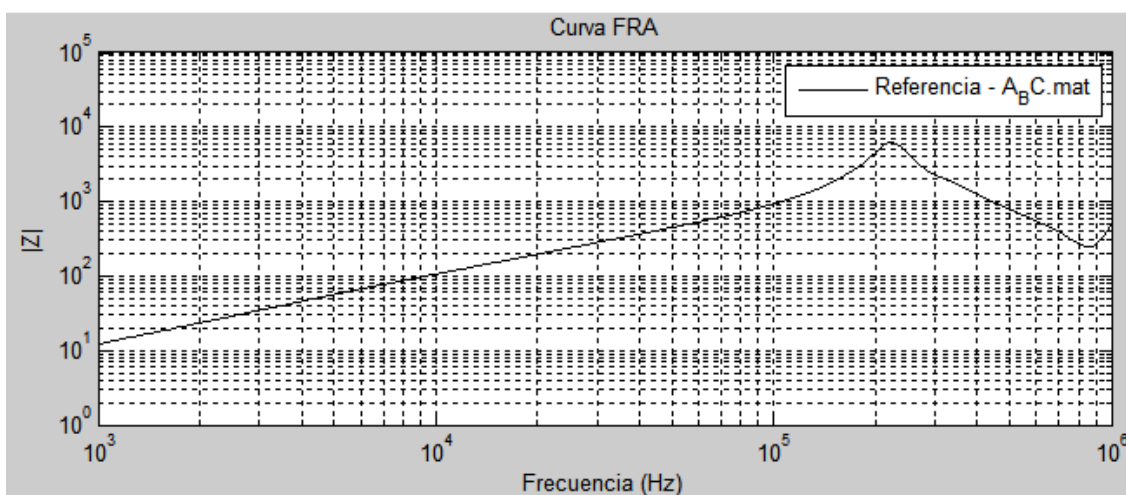


Figura 62. Curva FRA 400VA A_BC Referencia FRAX

Las características eléctricas del segundo transformador bajo prueba se reportan en la Tabla 4:

Valores Nominales	
Fabricante	Rymel
Potencia (KVA)	3
V_{Primario} (V)	0-7620
$V_{\text{Secundario}}$ (V)	0-240
I_n (A) Primaria	0.39
I_n (A) secundaria	12.5

Tabla 4. Características eléctricas segundo transformador

La configuración del montaje experimental para las siguientes respuestas (ver Figura 63, Figura 64, Figura 65, Figura 66), consistió en inyectar el pulso por el devanado de Baja del transformador, manteniendo el devanado de Alta en vacío, la medición para el registro de los datos se hizo por el devanado de Baja.

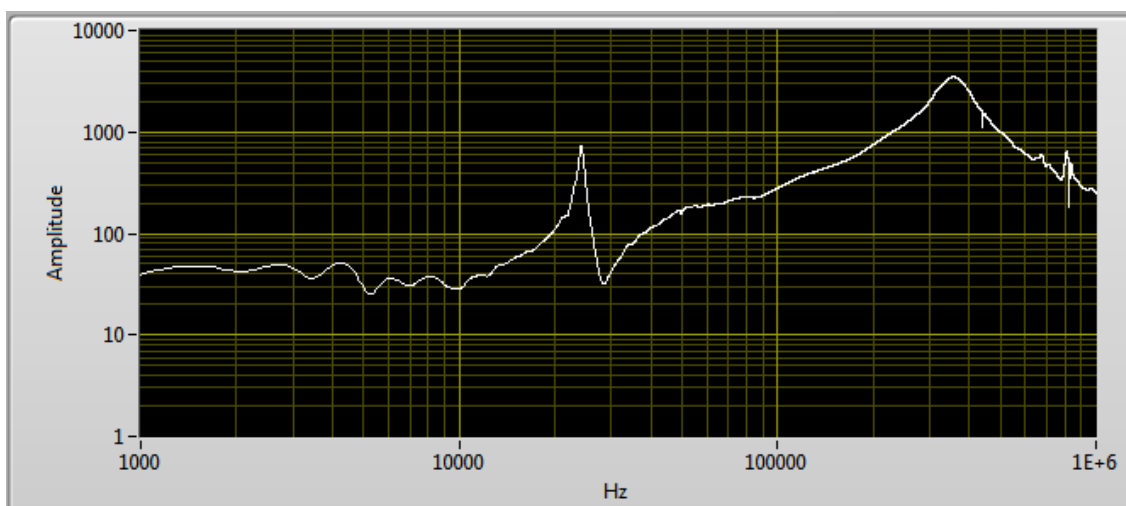


Figura 63. Curva FRA Rymel B_AA Panel Frontal Interfaz LabView

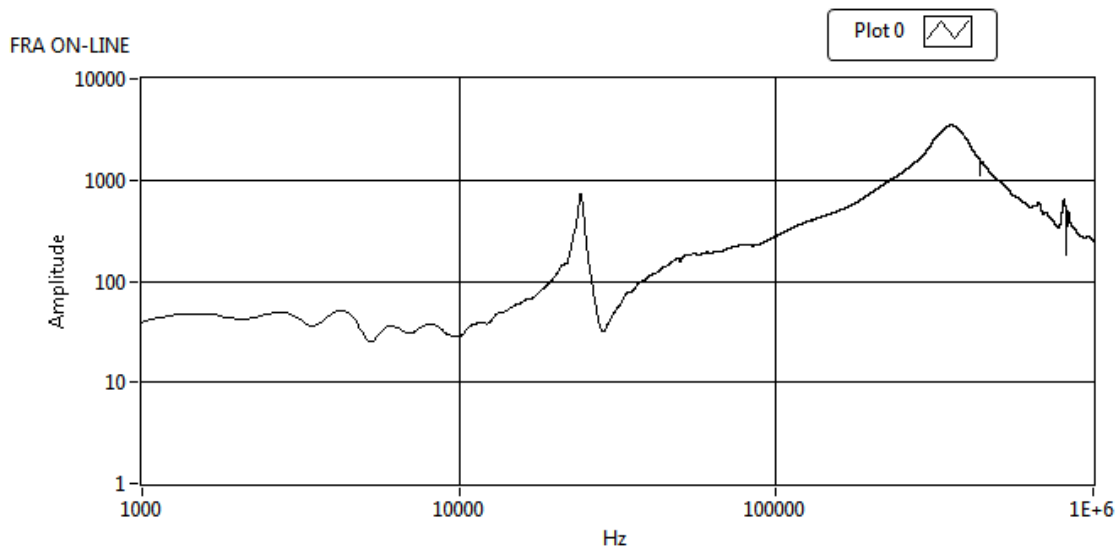


Figura 64. Curva FRA Rymel B_AA Exportada Interfaz LabView

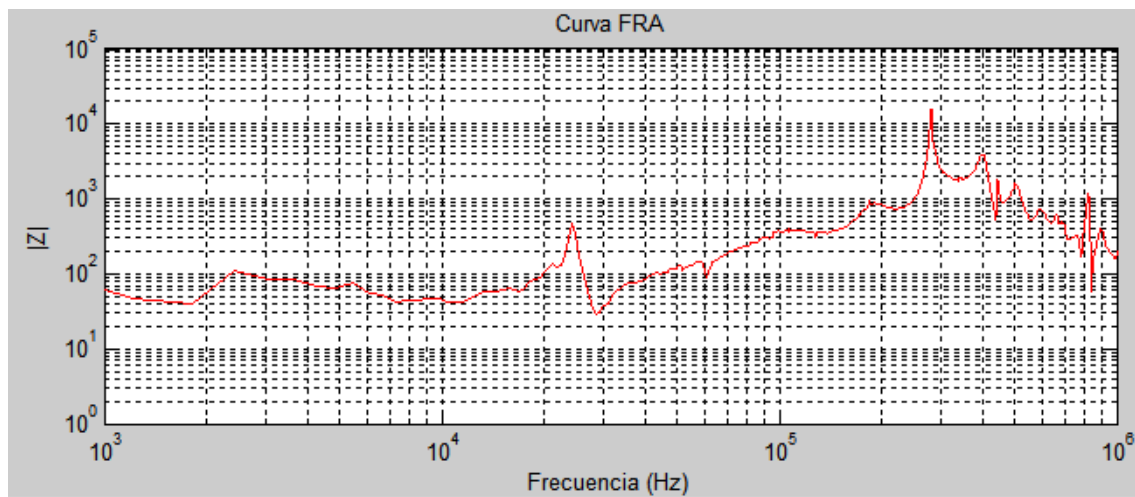


Figura 65. Curva FRA Rymel B_AA Algoritmo Matlab

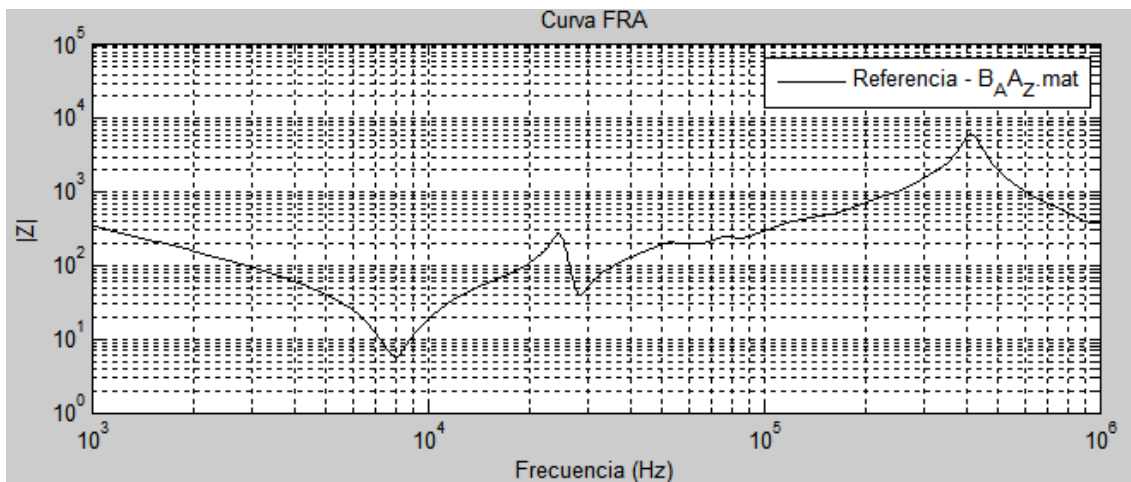


Figura 66. Curva FRA Rymel B_AA Referencia FRAX

La configuración del montaje experimental para las siguientes respuestas (ver Figura 67, Figura 68, Figura 69, Figura 70), consistió en inyectar el pulso por el devanado de Baja del transformador, manteniendo el devanado de Alta en corto, la medición para el registro de los datos se hizo por el devanado de Baja.

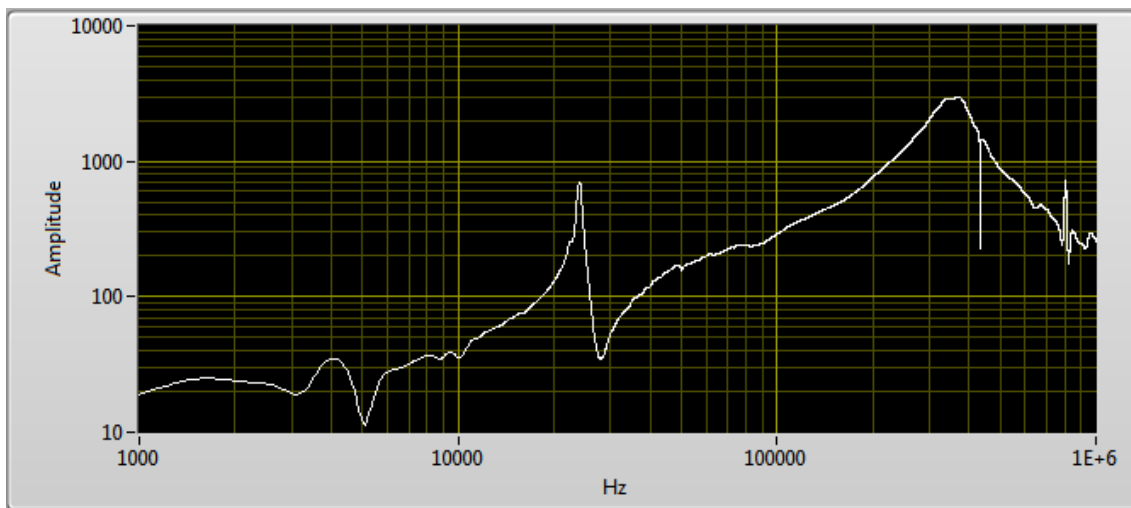


Figura 67. Curva FRA Rymel B_AC Panel Frontal Interfaz LabView

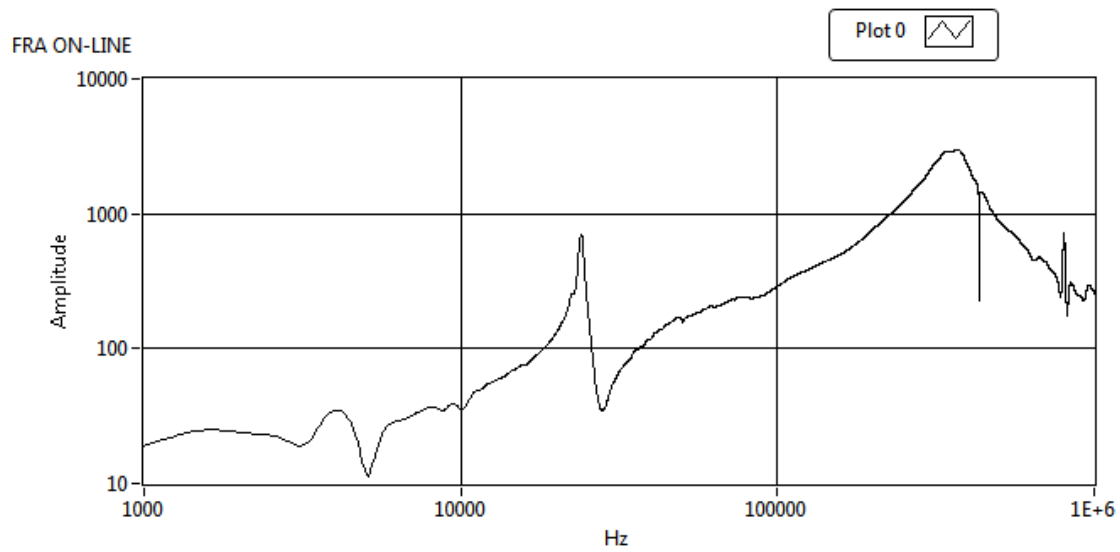


Figura 68. Curva FRA Rymel B_AC Exportada Interfaz LabView

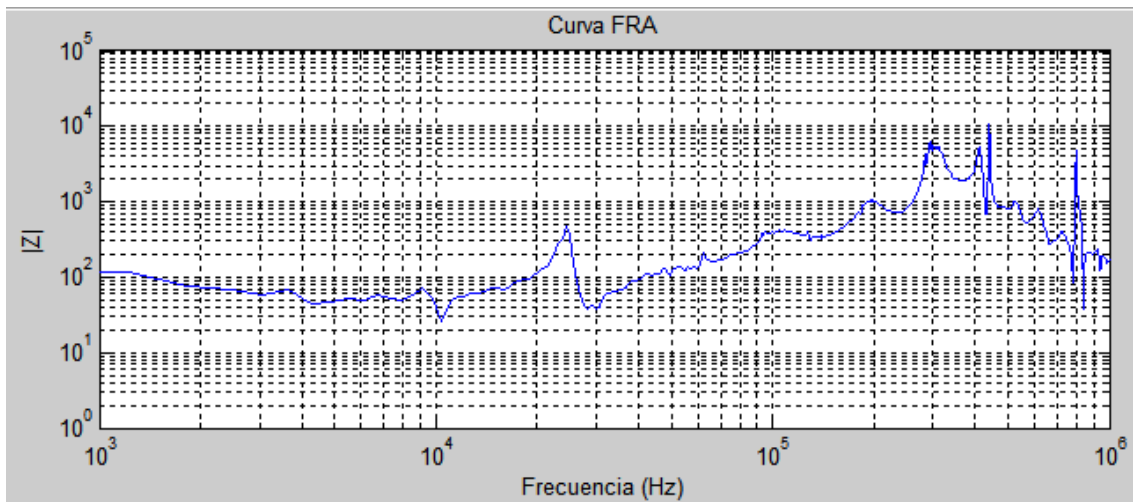


Figura 69. Curva FRA Rymel B_AC Algoritmo Matlab

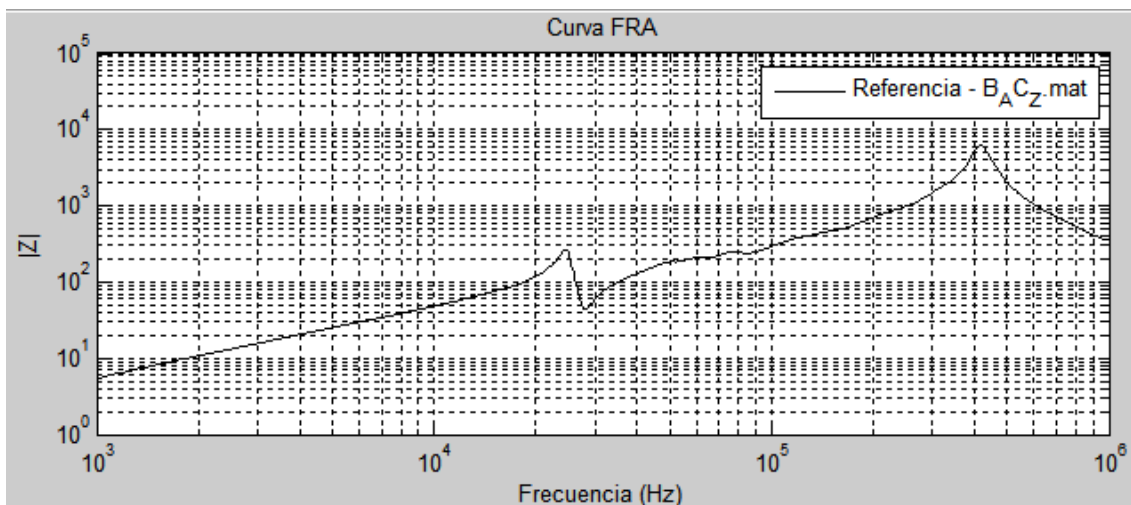


Figura 70. Curva FRA Rymel B_AC Referencia FRAX

La configuración del montaje experimental para las siguientes respuestas (ver Figura 71, Figura 72, Figura 73, Figura 74), consistió en inyectar el pulso por el devanado de Alta del transformador, manteniendo el devanado de Baja en vacío, la medición para el registro de los datos se hizo por el devanado de Alta.

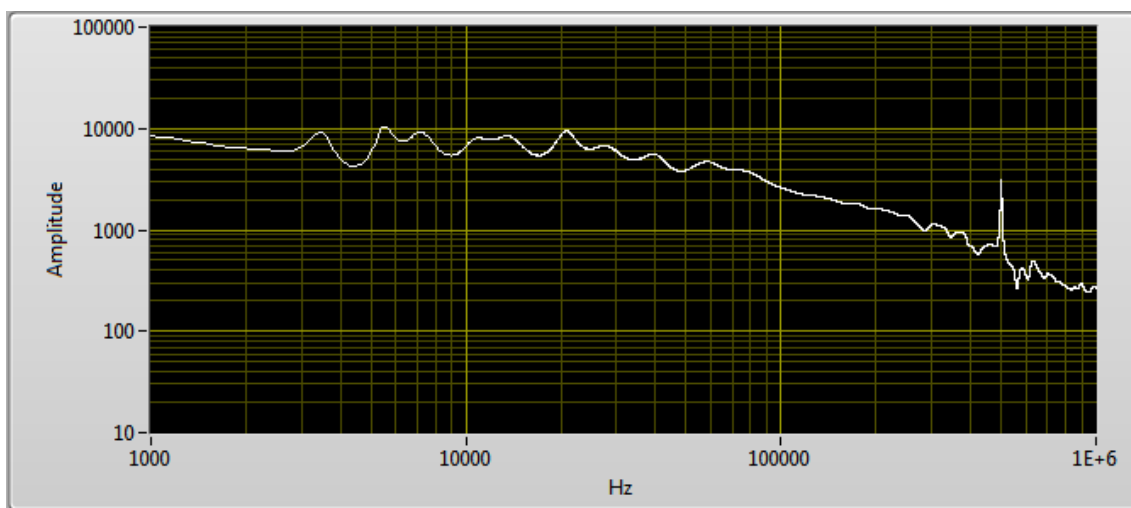


Figura 71. Curva FRA Rymel A_BA Panel Frontal Interfaz LabView

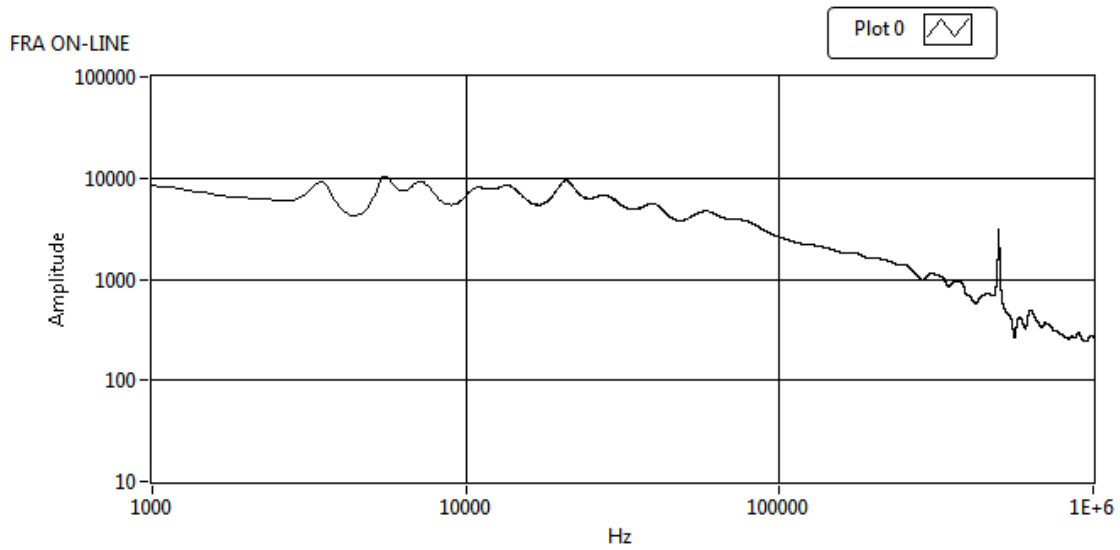


Figura 72. Curva FRA Rymel A_BA Exportada Interfaz LabView

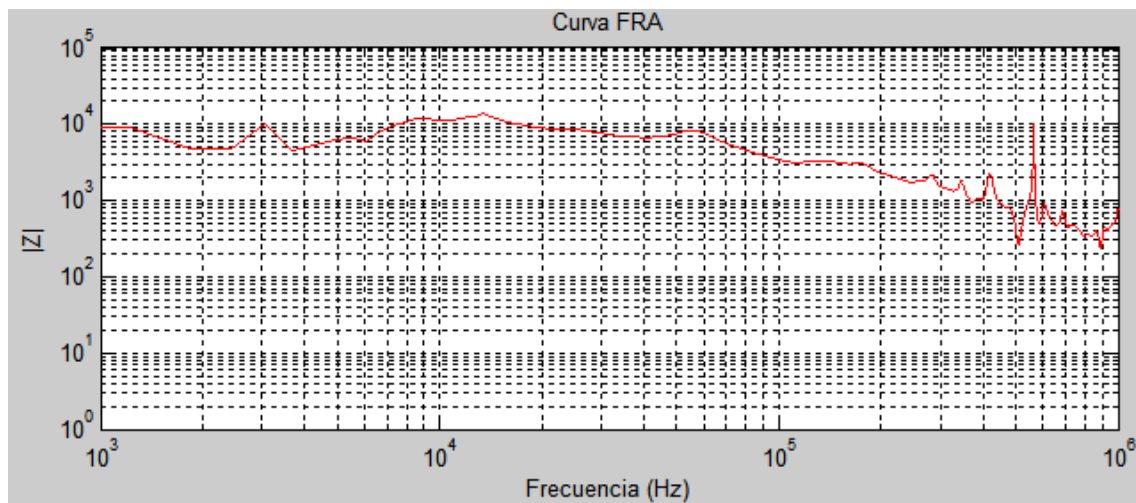


Figura 73. Curva FRA Rymel A_BA Algoritmo Matlab

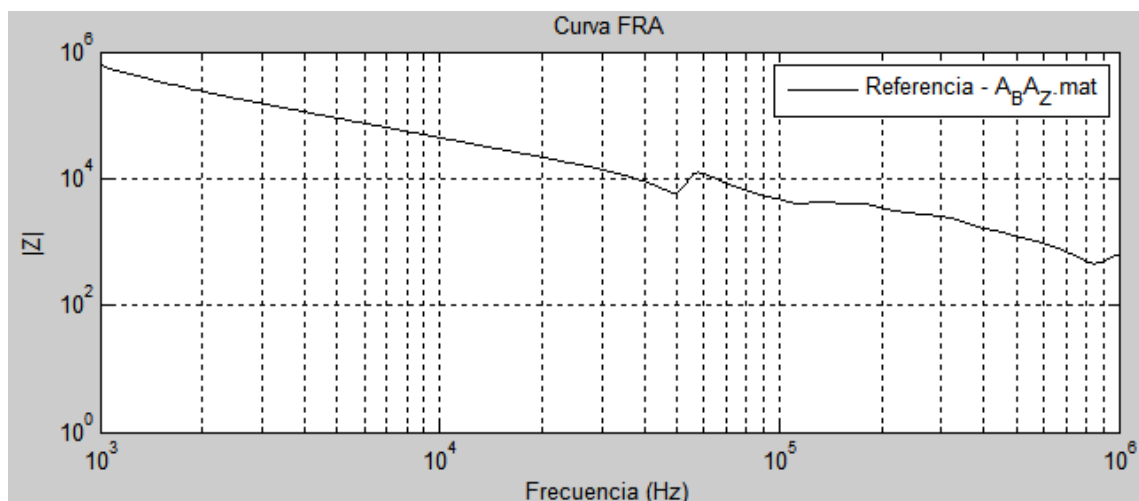


Figura 74. Curva FRA Rymel A_BA Referencia FRAX

La configuración del montaje experimental para las siguientes respuestas (ver Figura 75, Figura 76, Figura 77, Figura 78), consistió en inyectar el pulso por el devanado de Alta del transformador, manteniendo el devanado de Baja en corto, la medición para el registro de los datos se hizo por el devanado de Alta.

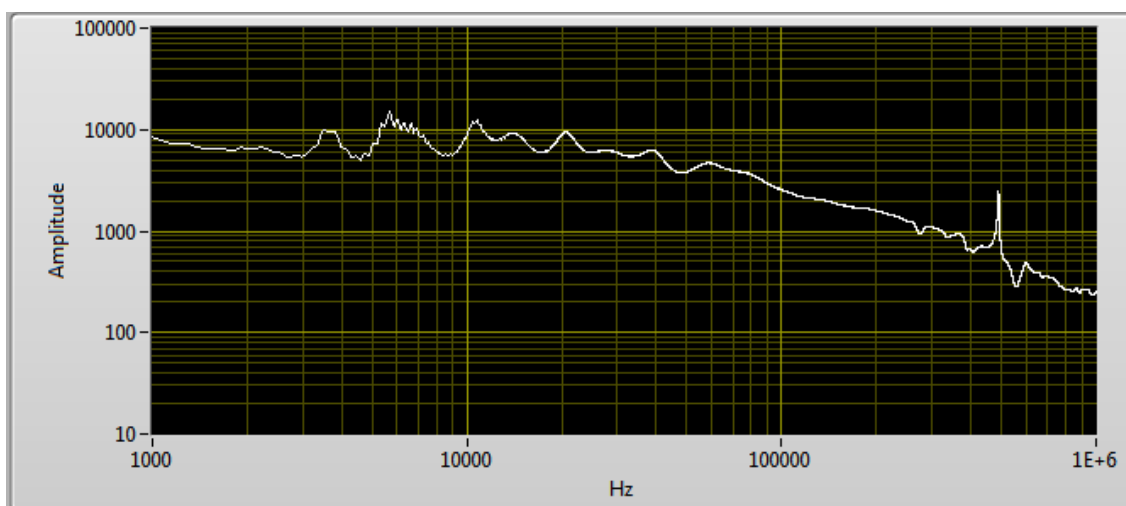


Figura 75. Curva FRA Rymel A_BC Panel Frontal Interfaz LabView

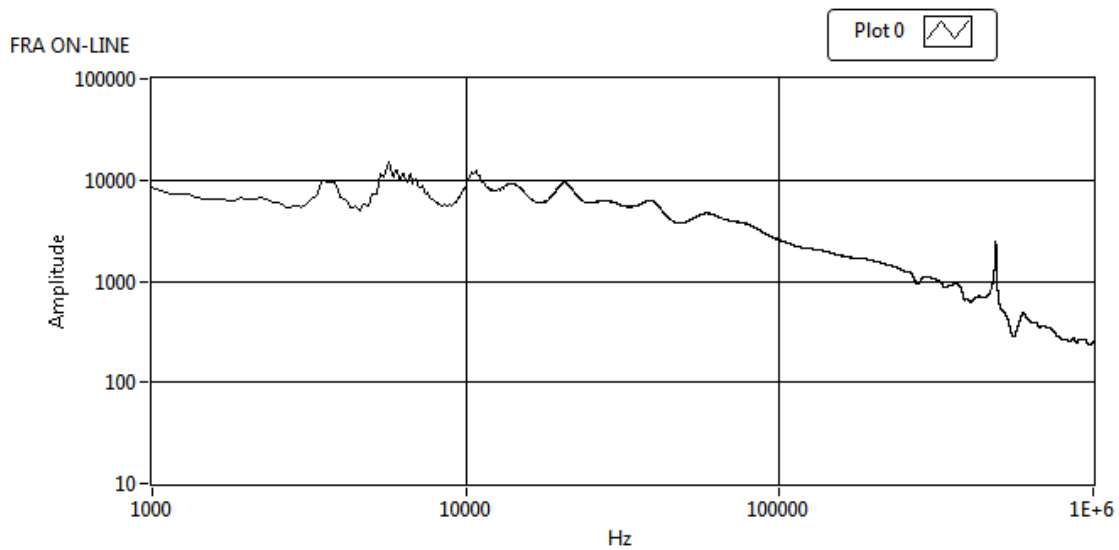


Figura 76. Curva FRA Rymel A_BC Exportada Interfaz LabView

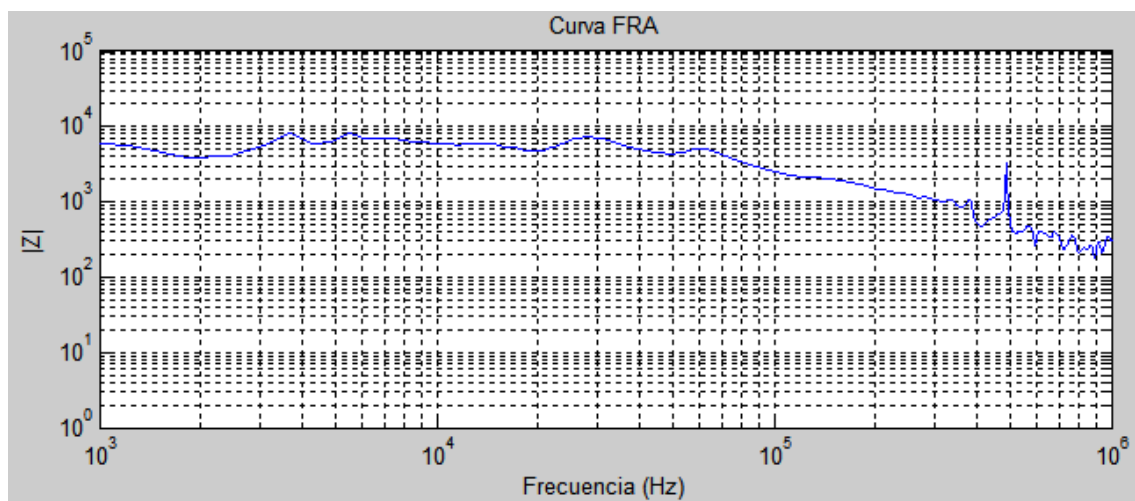


Figura 77. Curva FRA Rymel A_BC Algoritmo Matlab

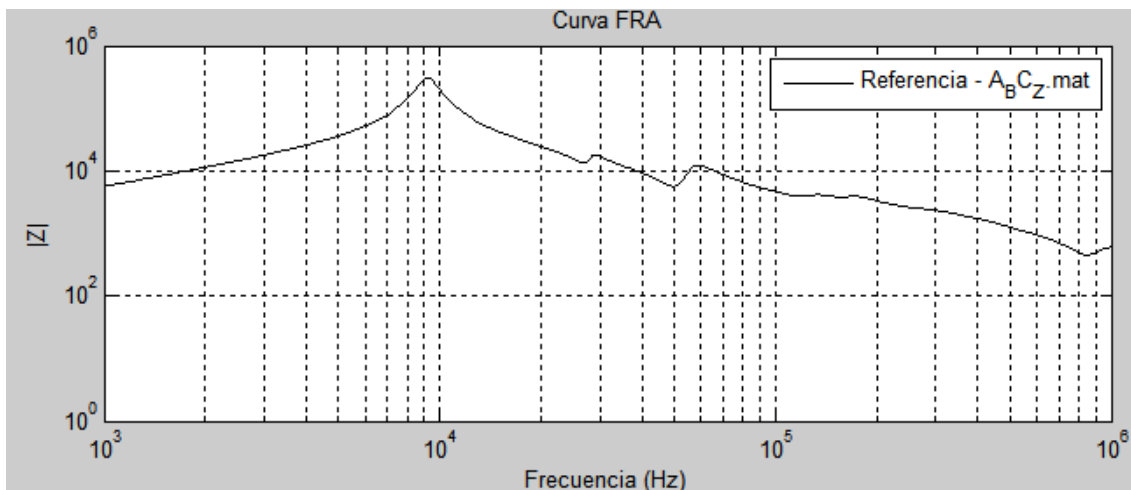


Figura 78. Curva FRA Rymel A_BC Referencia FRAX

4.2.2. Análisis de resultados obtenidos transformador energizado

La configuración del montaje experimental para las siguientes respuestas (ver Figura 79, Figura 80, Figura 81), consistió en inyectar el pulso por el devanado de Baja del transformador, manteniendo el devanado de alta energizado con un voltaje de 120V, la medición para el registro de los datos se hizo por el devanado de Baja.

Esta configuración también es válida compararla con la curva de Referencia de la Figura 54 que corresponde a inyectar el pulso por el devanado de baja manteniendo el devanado de alta en corto, medición por devanado de baja.

Para este caso se puede afirmar que la curva obtenida por la interfaz de LabView, supera en forma a la curva obtenida por el algoritmo de Matlab; por la mayor semejanza con la curva de referencia.

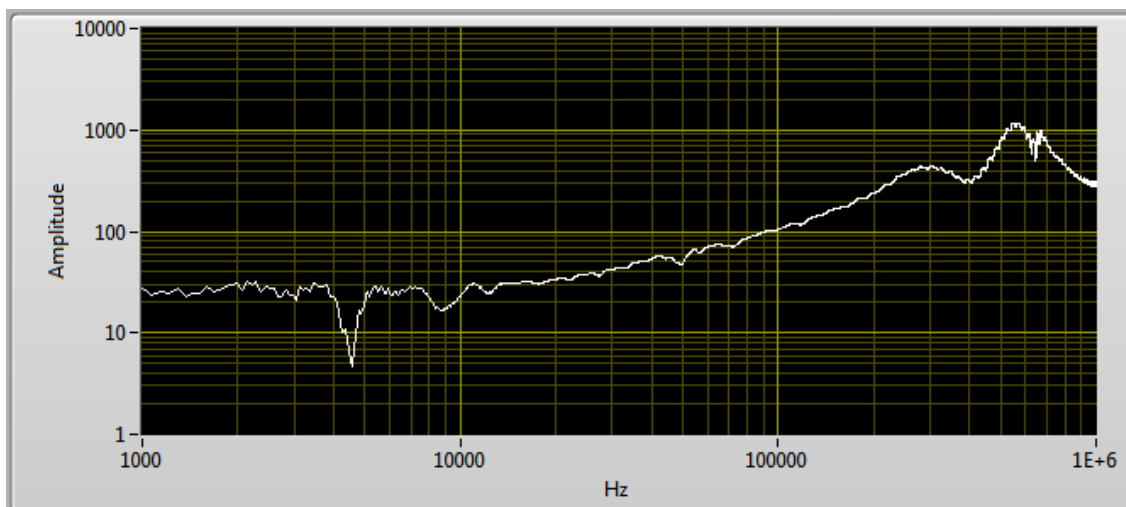


Figura 79. Curva FRA 400VA B_A energizado Panel Frontal Interfaz LabView

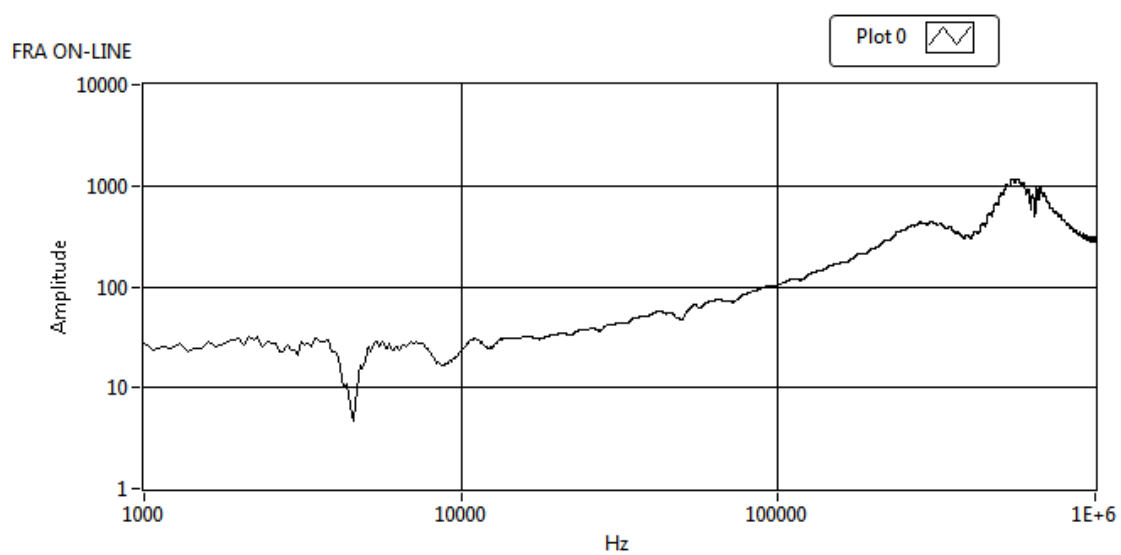


Figura 80. Curva FRA 400VA B_A energizado Exportada Interfaz LabView

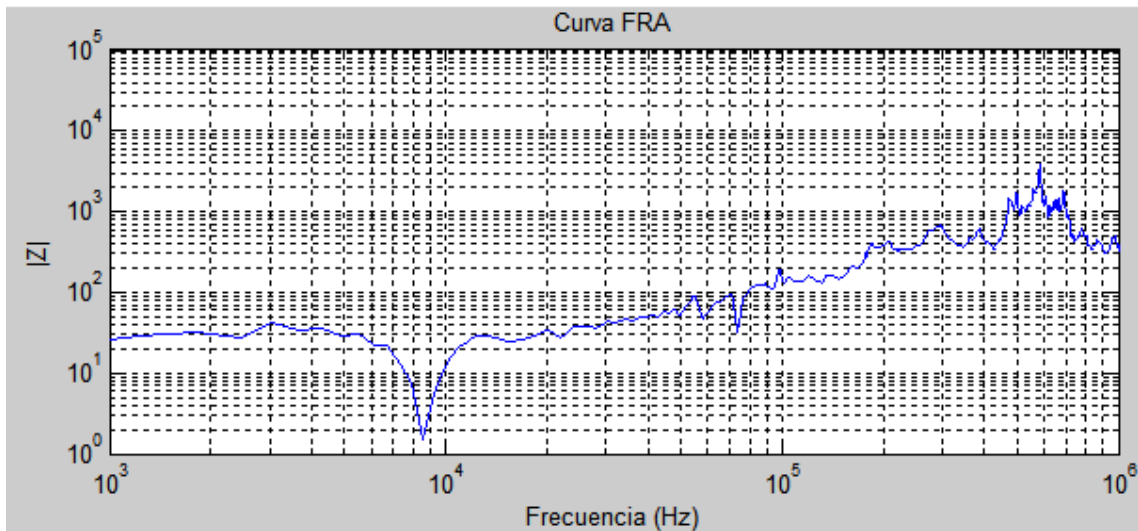


Figura 81. Curva FRA 400VA B_A energizado Algoritmo Matlab

4.2.3. Análisis de resultados obtenidos on-line

Los resultados experimentales en la medida on-line de la respuesta en frecuencia corresponden al primer transformador cuyas características eléctricas se reportan en la Tabla 3. La configuración se muestra en la Figura 82 con variación de carga.

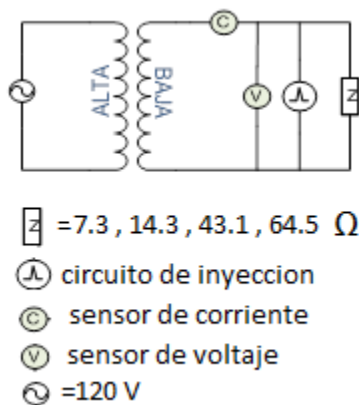


Figura 82. Configuración experimental proceso on-line

La configuración del montaje experimental para las siguientes respuestas (ver Figura 83, Figura 84, Figura 85), consistió en inyectar el pulso en paralelo con una carga de $7.3 \, \Omega$ por el devanado de Baja del transformador, manteniendo el

devanado de Alta energizado con un voltaje de 120 V, la medición para el registro de los datos se hizo por el devanado de Baja.

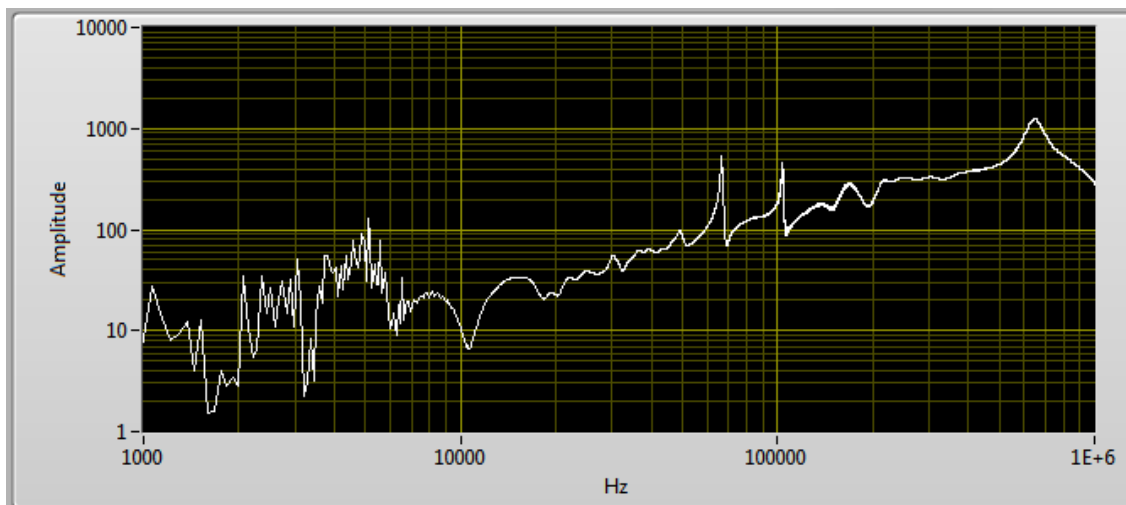


Figura 83. Curva FRA 400VA B7.3 Ω _Aenergizado Panel Frontal Interfaz LabView

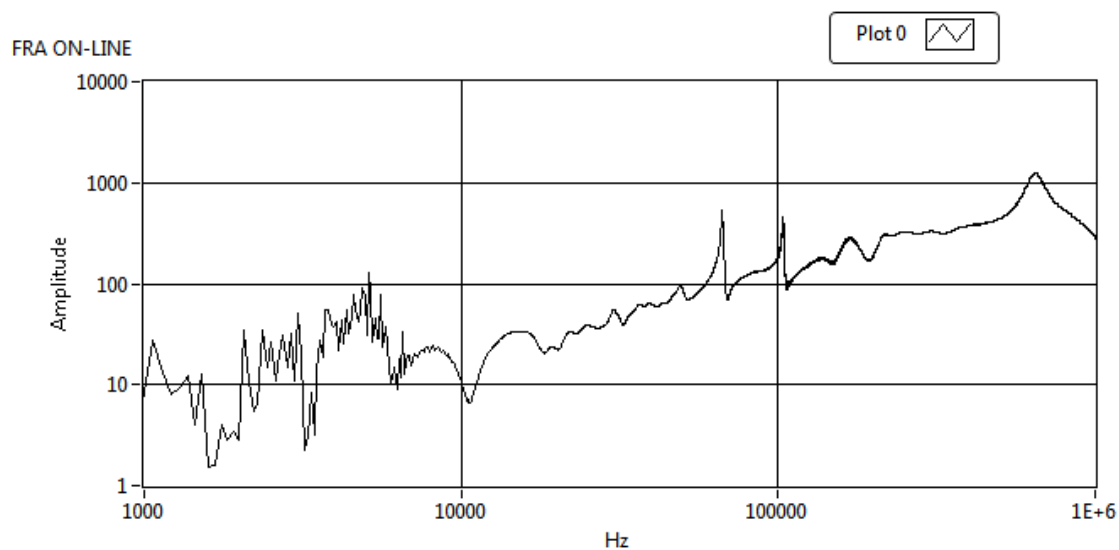


Figura 84. Curva FRA 400VA B7.3 Ω _Aenergizado Exportada Interfaz LabView

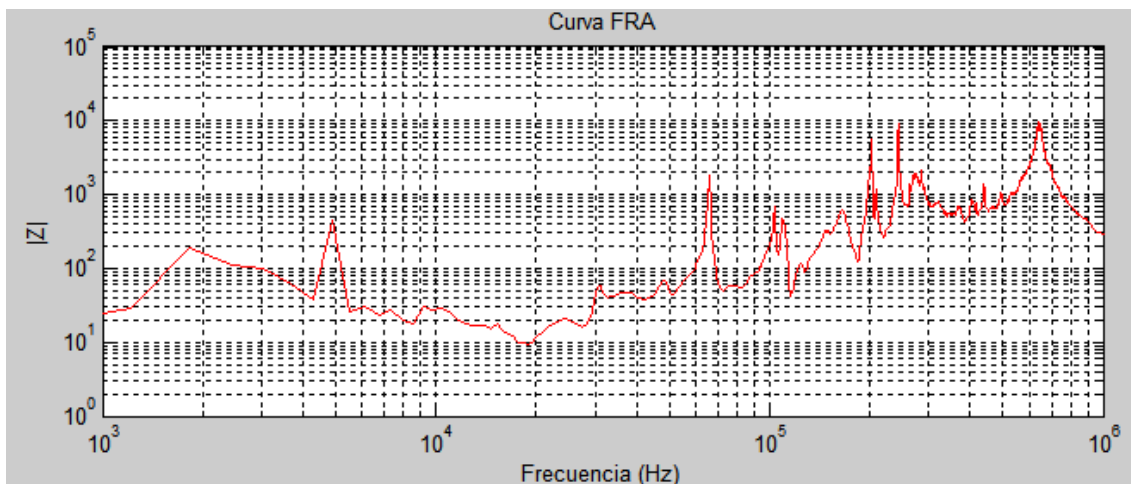


Figura 85. Curva FRA 400VA B7.3 Ω _Aenergizado Algoritmo Matlab

Se muestran además las gráficas del voltaje y corriente en el tiempo Figura 86, adquiridos directamente desde la interfaz gráfica desarrollada en LabView.

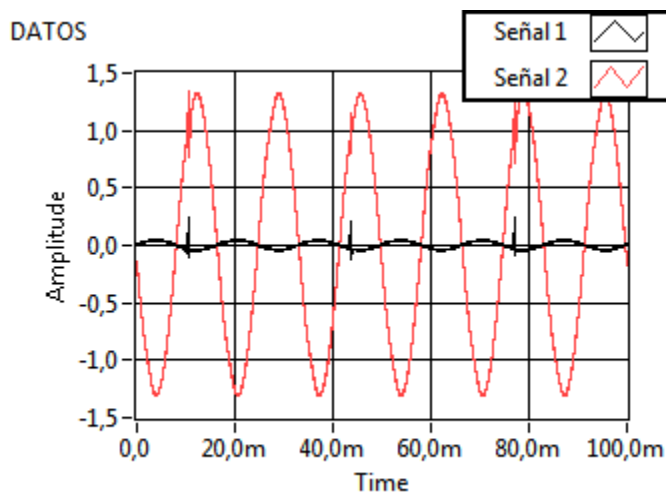


Figura 86. Señales V, I en el tiempo 400VA B7.3 Ω _Aenergizado

La señal 1 corresponde al voltaje, la señal 2 corresponde a la corriente, después de todos los filtrados, se obtienen las señales de la forma como se muestran en Figura 87 para voltaje, y la Figura 88 para corriente.

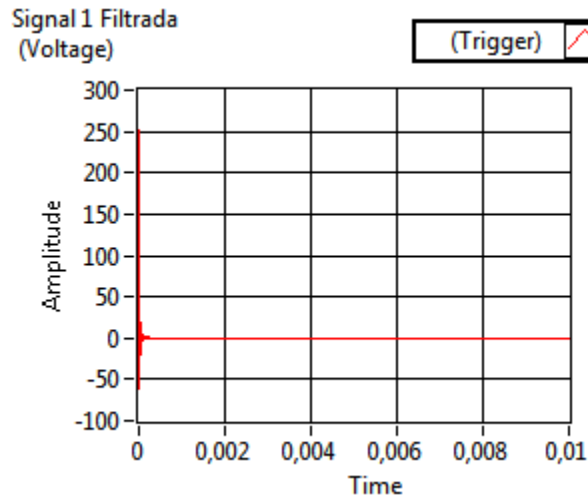


Figura 87. Señal V en el tiempo filtrada 400VA B7.3 Ω _Aenergizado

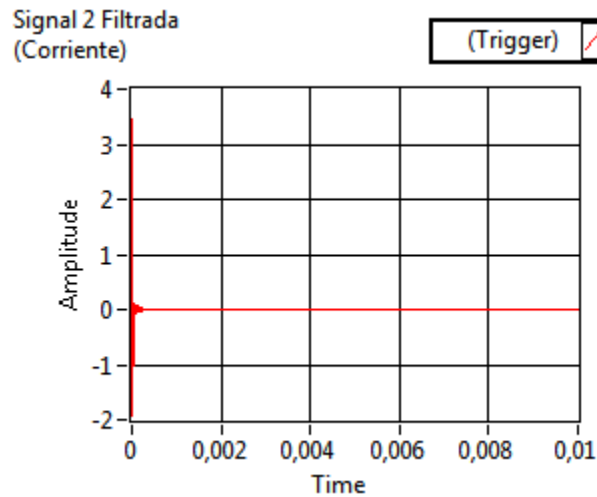


Figura 88. Señal I en el tiempo filtrada 400VA B7.3 Ω _Aenergizado

Para las siguientes pruebas experimentales solo se mostrara la curva exportada de la interfaz gráfica de LabView y la curva correspondiente al algoritmo de Matlab.

La configuración del montaje experimental para las siguientes respuestas (ver Figura 89, Figura 90), consistió en inyectar el pulso en paralelo con una carga de 14.3 Ω por el devanado de Baja del transformador, manteniendo el devanado de Alta energizado con un voltaje de 120 V, la medición para el registro de los datos se hizo por el devanado de Baja.

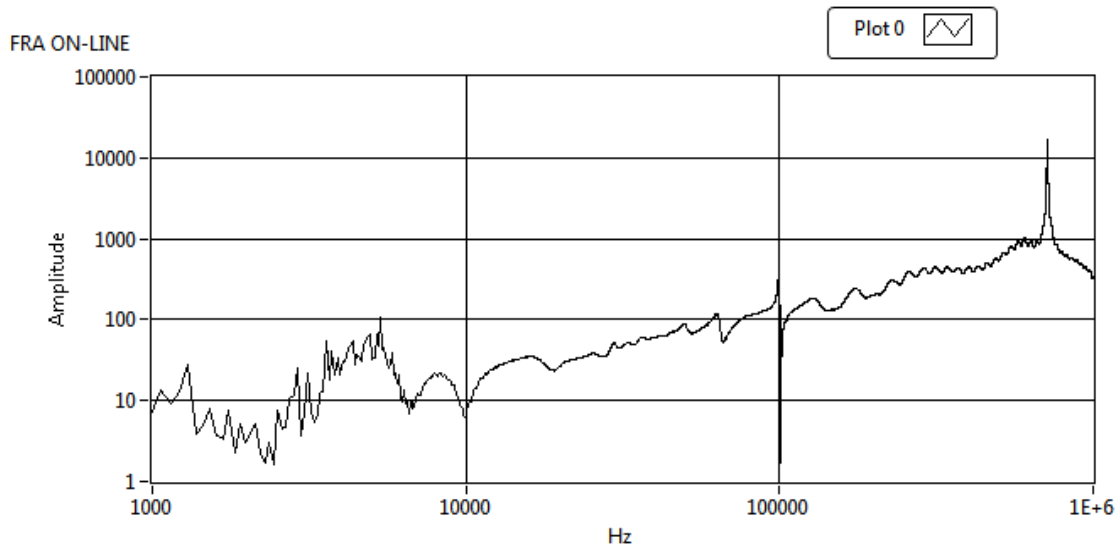


Figura 89. Curva FRA 400VA B14.3 Ω _Aenergizado Exportada Interfaz LabView

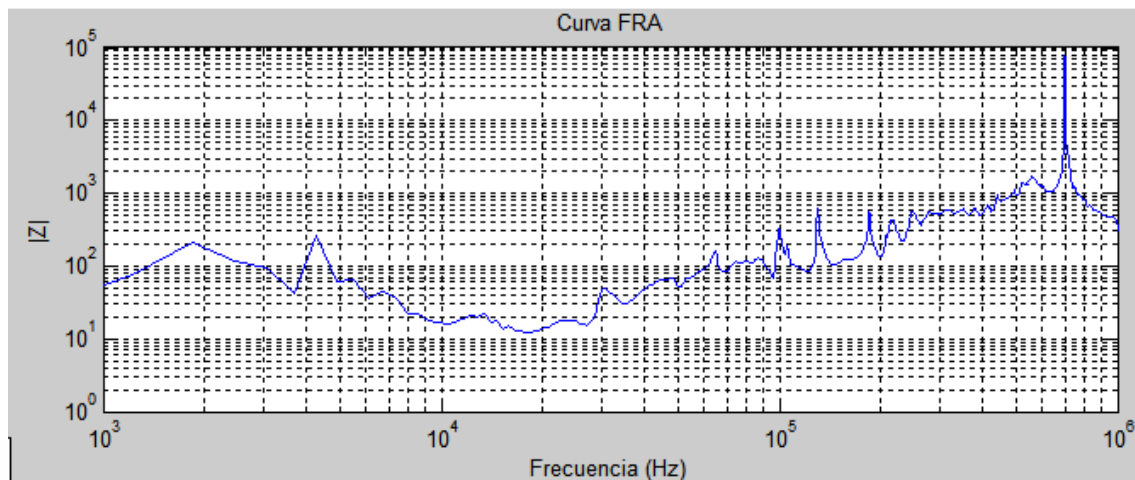


Figura 90. Curva FRA 400VA B14.3 Ω _Aenergizado Algoritmo Matlab

La configuración del montaje experimental para las siguientes respuestas (ver Figura 91, Figura 92), consistió en inyectar el pulso en paralelo con una carga de 43.1 Ω por el devanado de Baja del transformador, manteniendo el devanado de Alta energizado con un voltaje de 120 V, la medición para el registro de los datos se hizo por el devanado de Baja.

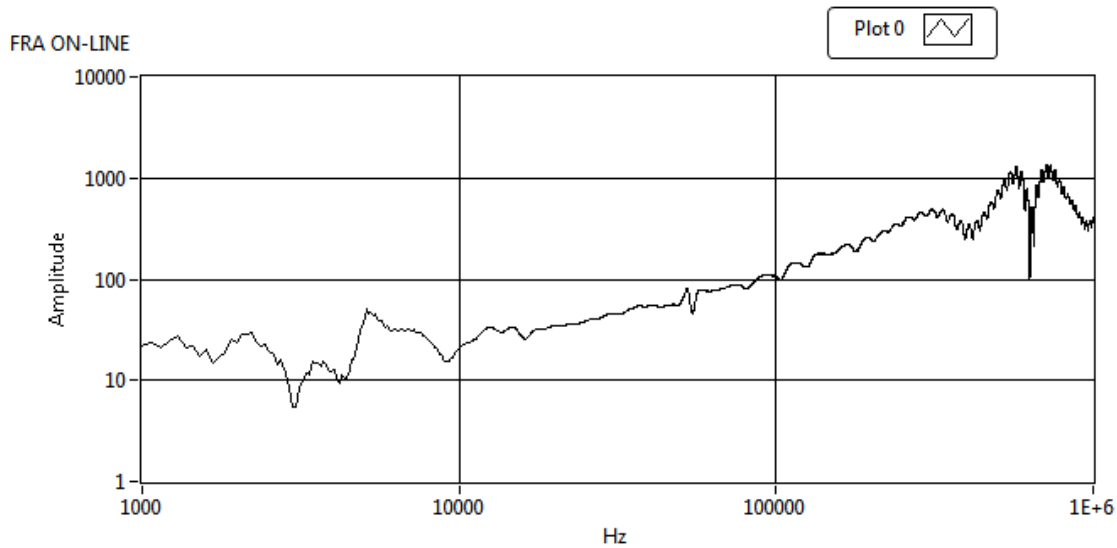


Figura 91. Curva FRA 400VA B43.1 Ω _Aenergizado Exportada Interfaz LabView

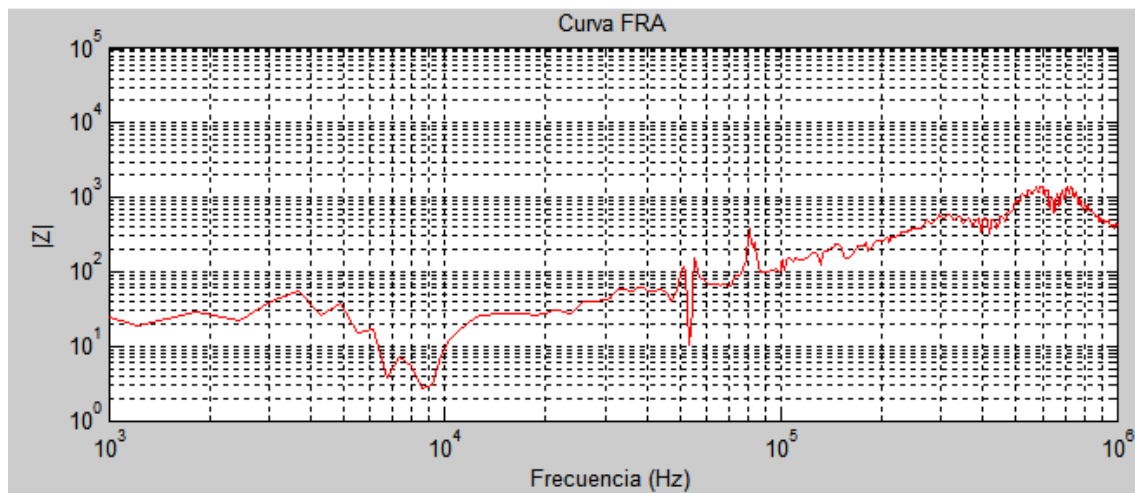


Figura 92. Curva FRA 400VA B43.1 Ω _Aenergizado Algoritmo Matlab

La configuración del montaje experimental para las siguientes respuestas (ver Figura 93, Figura 94), consistió en inyectar el pulso en paralelo con una carga de 64.5Ω por el devanado de Baja del transformador, manteniendo el devanado de Alta energizado con un voltaje de 120 V, la medición para el registro de los datos se hizo por el devanado de Baja.

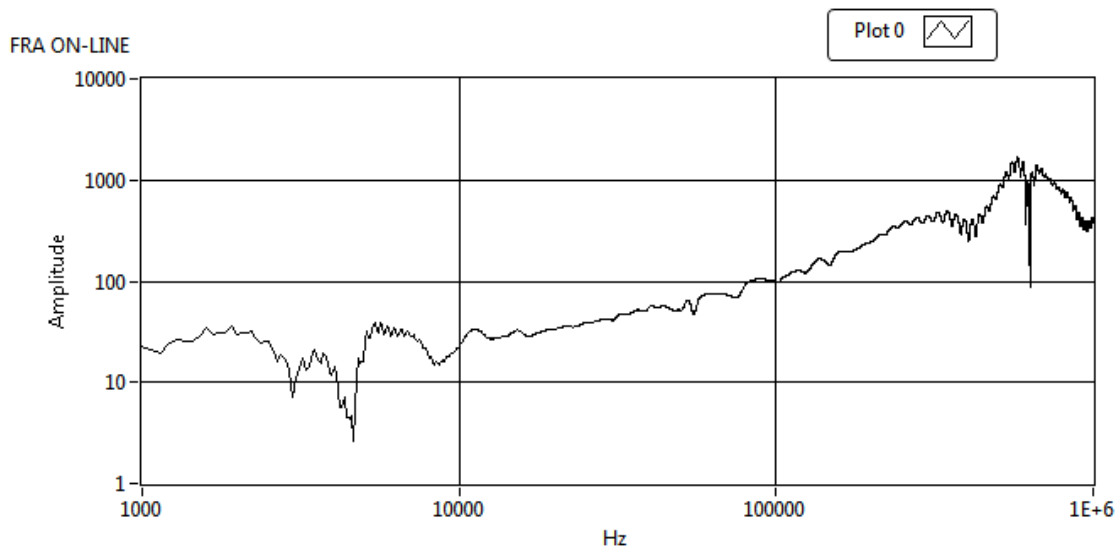


Figura 93. Curva FRA 400VA B64.5 Ω _Aenergizado Exportada Interfaz LabView

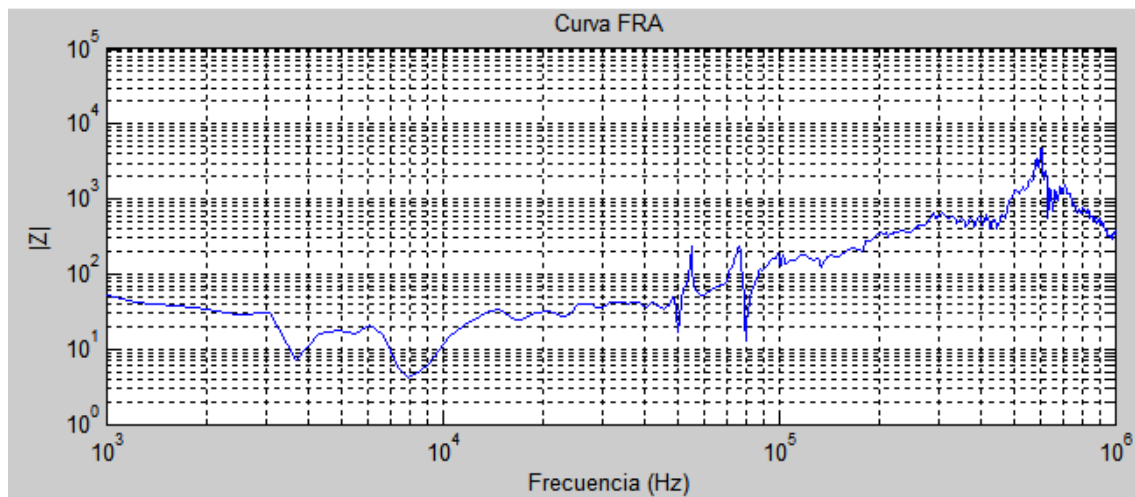


Figura 94. Curva FRA 400VA B64.5 Ω _Aenergizado Algoritmo Matlab

Después de comparar las curvas obtenidas se puede apreciar una repetitividad al variar la carga, todas las gráficas siguen a la curva de referencia que corresponde a la configuración medición e inyección de pulso por devanado de baja manteniendo devanado de alta en corto (ver Figura 95), sin embargo presenta algunos cambios en la forma.

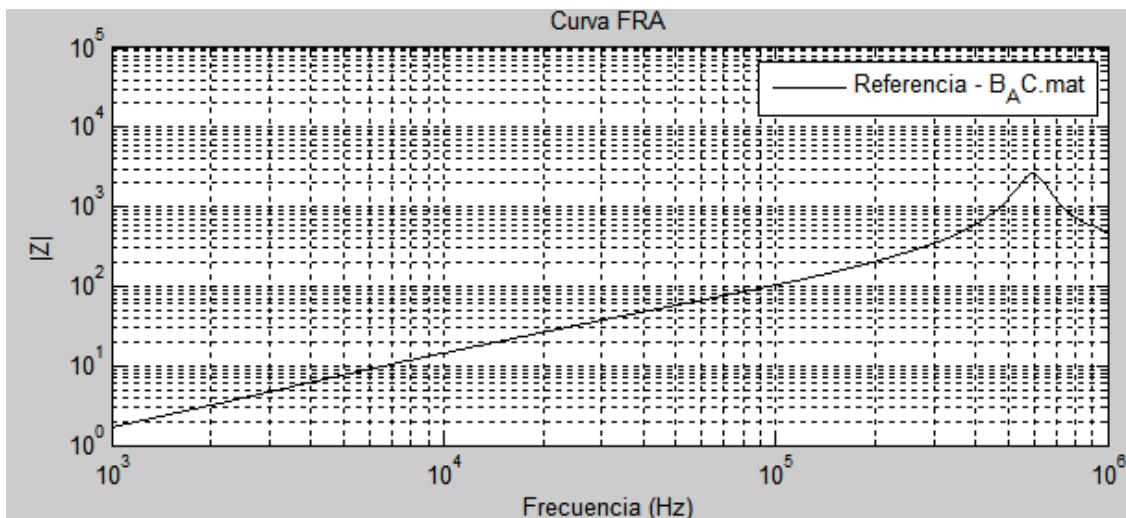


Figura 95. Curva Referencia para pruebas On-Line

✓ Análisis Repetividad Curvas.

Para tener una mayor certeza de la repetividad de las curvas, proceso experimental para determinar que la curva resultante semeja a la curva del transformador; se hicieron diferentes pruebas: variando algunos parámetros como es la carga, parámetros del pulso inyectado condiciones que se exponen en la tesis de pregrado [26], las curvas resultantes presentaron buena repetividad ante factores establecidos como se muestran en los resultados del presente proyecto de grado y ya existe un análisis estadístico de dicha repetividad [26].

El análisis cualitativo y validación se hace por la comparación de las curvas FRA on-line obtenidas con la interfaz gráfica de LabView, la plataforma Labview y por el equipo FRAX 101 de Megger, aunque teóricamente no es correcto comparar las pruebas obtenidas Off-line (curvas por FRAX 101) con las curvas on-line (Plataforma Labview), por la semejanza obtenida y por la repetividad de las curvas frente a las configuraciones, se puede hacer valida esta comparación experimental.

Por tal razón la validación se respalda por pruebas experimentales y por el proceso desarrollado por el grupo de investigación GRALTA en el proyecto de FRA on-line [6], aún no se tiene un respaldo teórico o una $H(s)$ del transformador ante la cual se puedan validar las respuestas obtenidas en el presente proyecto. Sin embargo se encuentra en trabajos de estudio e investigación.

Se realizaron diferentes pruebas con el transformador Rymel y Explorer en la configuración como se muestra en la Figura 96.

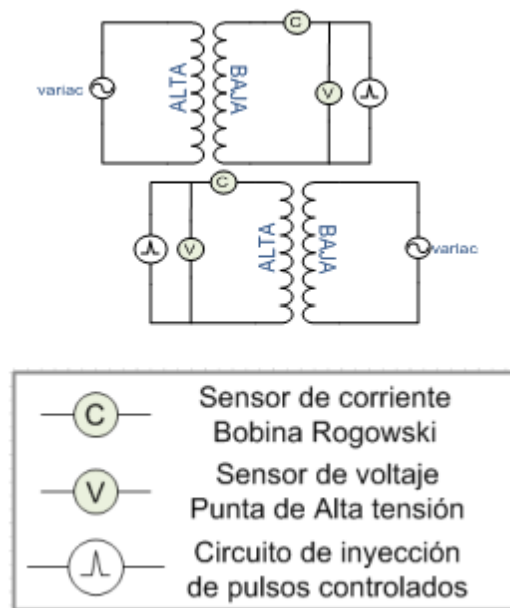


Figura 96. Configuración montaje experimental

La configuración del montaje experimental para las siguientes respuestas (ver Figura 97), consistió en inyectar el pulso en paralelo con una carga de $46\ \Omega$ para un K de 0.1 y $23\ \Omega$ para un K de 0.2 por el devanado de Baja del transformador, manteniendo el devanado de Alta energizado, la medición para el registro de los datos se hizo por el devanado de Baja.

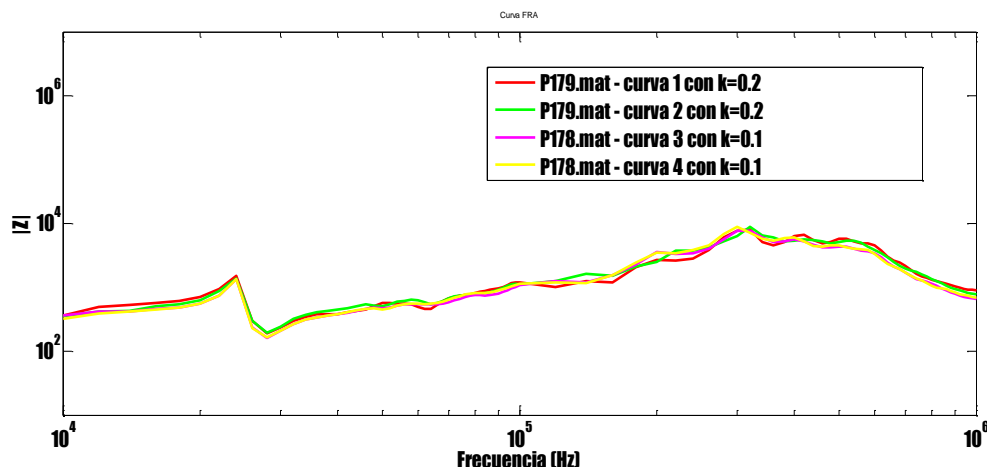


Figura 97. Curvas FRA on-line Rymel B46 Ω , 23 Ω _Aenergizado

La configuración del montaje experimental para las siguientes respuestas (ver Figura 98), consistió en inyectar el pulso en paralelo con una carga de $46\ \Omega$ para un K de 0.41 y 0.45, por el devanado de Baja del transformador EXPLORER fase R, manteniendo el devanado de Alta energizado, la medición para el registro de los datos se hizo por el devanado de Baja.

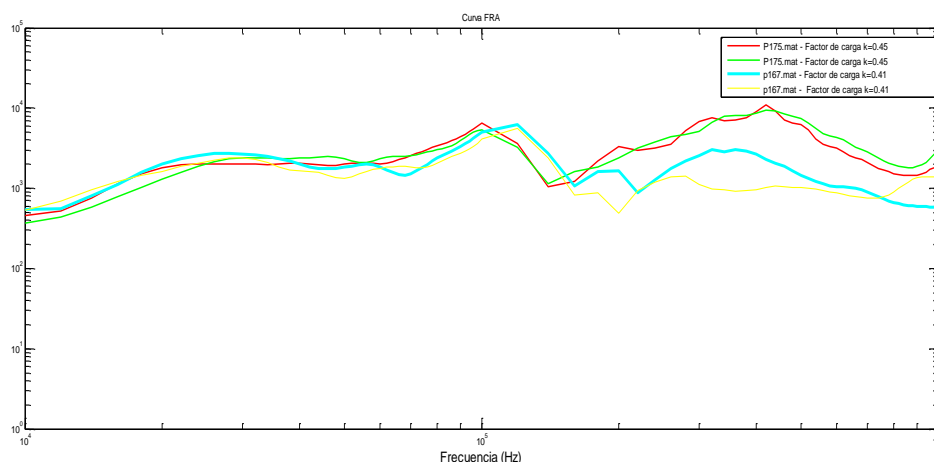


Figura 98. Curvas FRA on-line EXPLORER B46 Ω _Aenergizado

Las curvas fueron obtenidas con la plataforma LabView y para comprobar su repetitividad se exportaron a Excel para posteriormente graficarlas todas en un solo plano utilizando Matlab.

4.3. Resumen

En este capítulo se hace una breve descripción del montaje experimental para la validación de la interfaz gráfica desarrollada en LabView, posteriormente se muestran las respuestas de la curva FRA obtenidas en la plataforma LabView además de las respuestas FRA obtenidas por el algoritmo de Matlab y por el equipo FRAX para analizar una comparación entre estas y determinar la aprobación de la interfaz implementada.

Se muestran pruebas experimentales que se denominan Off-line que corresponden cuando el transformador está en vacío o sin carga, puede haber alguna maniobra como corto en alguno de los devanados o que este energizado, cuando se habla de pruebas On-line corresponde cuando el transformador está bajo carga.

5. Capítulo V.

5.1. CONCLUSIONES

- Se desarrolló un software en ambiente LabView de fácil manejo, que permite la adquisición y representación gráfica de los datos de voltaje y corriente su posterior filtrado y análisis matemático con la herramienta FFT para mostrar la curva FRA del transformador en tiempo continuo.
- El software desarrollado se validó con diferentes tipos de transformadores, presentando un comportamiento favorable; aunque en el presente documento solo se reportan los resultados obtenidos para dos tipos de transformadores.
- Aunque en el trabajo de grado se planteó la adquisición de datos con la tarjeta NI PCI-6115, posteriormente se tomó la decisión de utilizar también la tarjeta NI PCI-5105 por presentar una mayor frecuencia de muestreo. Cada tarjeta puede ser configurada desde el panel frontal del software con la versatilidad de escoger a la hora de la adquisición. Mostrando la facilidad de LabView a la hora de procesar la información con cualquier tipo de registrador.
- Se pudo observar que la curva FRA resultante no es exactamente semejante a la curva de referencia; tomada con el analizador de respuesta de frecuencia de barrido FRAX 101 (SFRA), sin embargo lo más importante de la prueba es que sea repetible como se observó en los resultados obtenidos.
- Para el análisis de la respuesta en frecuencia del transformador estando en servicio se tenía una plataforma desarrollada en Matlab, El software desarrollado en LabView tiene como gran ventaja reducir el tiempo de estudio considerablemente en la adquisición y procesamiento de los datos,

permitiendo al usuario hacer un análisis más rápido, e incluso viendo en tiempo real y continuo el cambio de la curva resultante frente a maniobras; como lo es hacer un corto o cambio de carga en el transformador.

- Se desarrolló un prototipo de sistema virtual para el monitoreo del transformador estando en servicio por medio de su respuesta en frecuencia.
- Con los resultados vistos y las gráficas reportadas se puede concluir que el software desarrollado en la plataforma LabView, es válido para el estudio y monitoreo del transformador en servicio por medio de la visualización de su función de transferencia, para que sea utilizado por las empresas del sector eléctrico interesadas en el tema.
- Es necesario señalar que el software desarrollado en LabView aunque permite una adquisición y análisis en tiempo continuo, por efectos del buffer empleado por parte de la plataforma; dicha adquisición y análisis no puede extenderse por varias iteraciones. También depende de la frecuencia de muestreo de la tarjeta de adquisición, entre mayor frecuencia, disminuye las iteraciones de adquisición y análisis. Se sugiere un valor típico de frecuencia de muestreo de 10MS/s y una configuración previa de la adquisición para garantizar los datos correctos para el procesamiento matemático.

5.2. TRABAJOS FUTUROS

- El registro de señales transitorias, necesariamente deben hacerse a frecuencias de muestreo muy altas, con lo cual se logró obtener mayor cantidad de información lo cual permitió obtener mejores resultados, por lo tanto sería de gran importancia optimizar el código encontrando maneras de ahorro de memoria para no saturar el buffer y utilizar la tarjeta de adquisición NI PCI-5105 con frecuencias de muestreo superiores a 10MHz.
- Continuar el perfeccionamiento del software agregándole módulos para un análisis matemático alternativo al FFT, además de un reporte de datos en otras extensiones que puedan servir para ser analizados con otras plataformas como Matlab.
- Perfeccionar el código para que pueda leer y analizar datos en extensión .mat, y pueda hacer el correcto análisis para mostrar la curva FRAX del transformador, del modo que pueda sustituir totalmente a la plataforma desarrollada con Matlab.
- Se propone hacer un análisis económico para los diferentes equipos de medición en línea (tarjetas de adquisición), para contrarrestar el valor monetario del presente proyecto.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Hassan Abniki, H. Afsharirad, A. Mohseni, F. Khoshkhati, Hassan Monsef, and Pourya Sahmsi, "Effective On-line Parameters for Transformer Monitoring and Protection", North American Power Symposium (NAPS), 2010, p.p 1-5, 26-28 Sept. 2010.
- [2] M. Wang, a. J. Vandermaar, and K. D. Srivastava, "Review of condition assessment of power transformers in service," *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 18, no. 6, pp. 12-25, Nov. 2002.
- [3] S. Tenbohlen, T. Stirl, and G. Bastos, "Experience based Evaluation of Economic benefits of OnLine Monitoring Systems for Power Transformers," *CIGRE*, 2002.
- [4] T. Krieg and M. Napolitano, "Techniques and experience in on-line transformer condition monitoring and fault diagnosis in ElectraNet SA," *International Conference on Power System Technology. Proceedings*, pp. 1019-1024, 2000.
- [5] E. Gomez-Luna, G. Aponte, C. Gonzalez-Garcia, J. Pleite "Current Status and Future Trends in the Frequency Response Analysis (FRA) with the Transformer in Service" *IEEE Transactions on Power Delivery*, December 2012 paper accepted for publishing.
- [6] Grupo de Investigación en Alta Tension GRALTA – "Desarrollo de una prueba piloto para obtener la respuesta en frecuencia de un transformador en servicio". Reporte Tecnico No. 2653, Universidad del Valle. Agosto 2012.
- [7] J.S. Oyola, C.A. Arredondo y G. Gordillo, "Desarrollo de Prototipo de Sistema de Monitoreo en Tiempo Real del Nivel de Agua en Ríos Usando Instrumentación Virtual", *Revista Colombiana de Física*, vol. 40, No. 2, Julio 2008.
- [8] S.S. Murthy, Raghu K. Mittal, Avneesh Dwivedi, G. Pavitra, and Sonika Choudhary, Online performance monitoring and testing of electrical equipment using Virtual Instrumentation, Dept. of Electrical Engg., IIT Delhi, India, 2007 IEEE.
- [9] LEJARA J., PELEGRI J. Labview: entorno grafico de programación. España: Alfaomega Grupo Editor, 2007.
- [10] RONCANCIO H., CIFUENTES H. Tutorial de LabView. Universidad Distrital "Francisco Jose de Caldas". 2001.

- [11] Li Guofang, Chen Lidong, Qi Yubin, Liu Shengtao, Xue Junyu, "Remote Monitoring System of Greenhouse Environment Based on Lab VIEW", 2010 International Conference On Computer Design And Applications (ICDDA 2010), 2010 IEEE.
- [12] PALLAS ARENY, RAMON, "Sensores y Acondicionadores de señal". Editorial MARCOMBO, ISBN 9788426713445, pág. 479, S.A., 2003.
- [13] "The Industrial Information Technology Handbook". CRC Press. 2005.
- [14] V. M. Catterson, S. E. Rudd, S. D. J. McArthur, and G. Moss, "On-line Transformer Condition Monitoring through Diagnostics and Anomaly Detection". 15th International Conference on intelligent System Applications to Power Systems. p.p 1-6, 8-12 Nov. 2009.
- [15] Qun-Feng Niu, Li Wang, Va-Ping Shi, Realization of a Power Transformer on-line Monitoring and Diagnosis System Based on DGA and PNN, 2010 International Conference on Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering (CMCE), 2010 IEEE.
- [16] Lu Hailiang, Wen Xishan¹, Li Xiaoping, Tong Xuefang, "On-line Monitoring and Study of Transformer DC Bias", Proceedings of ICEMS2008 The 11th International Conference on Electrical Machines and Systems, October 17-20, 2008 Wuhan, China, ISBN 978-4244-3946-1, IEEE Catalog Number CFP08801-PRT.
- [17] C.W Park, Y. Simard, M. Bahoura, J. Rouat, and M. Sirois, The remote monitoring system for the buoy to localize the whale by Labview, 2066 IEEE.
- [18] <http://www.contec.com/product.php?id=2049> Página Web consulta el 23 de Enero de 2013.
- [19] <http://www.home.agilent.com/en/pd-2031289-pn-M9703A/axie-12-bit-high-speed-digitizer?nid=-35502.994570&cc=CO&lc=eng> Página Web consulta el 23 de Enero de 2013.
- [20] <http://www.home.agilent.com/en/pd-1647522-pn-U1083A/acqiris-10-to-14-bit-high-speed-vme-vxs-modules?nid=-35502.896723&cc=CO&lc=eng> Página Web consulta el 23 de Enero de 2013.
- [21] <http://spdevices.com/index.php/products/high-speed-data-acquisition> Página Web consulta el 23 de Enero de 2013.
- [22] <http://www.gage-applied.com/digitizers/14-bit/pcie/compuscope-razor-14x2-express.htm> Página Web consulta el 23 de Enero de 2013.

- [23] http://www.advantech.com/products/PCI-1714U/mod_9E17177B-D334-4E52-A342-5DD4E483B4E7.aspx Página Web consulta el 23 de Enero de 2013.
- [24] <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/11886>. Página Web consulta el 01 de Junio de 2012.
- [25] <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/203360>. Página Web consultada el 01 de junio de 2012.
- [26] “ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE AFECTAN LA REPETITIVIDAD DE LA PRUEBA DE ANÁLISIS DE LA RESPUESTA EN FRECUENCIA ESTANDO EL TRANSFORMADOR EN SERVICIO”, trabajo de grado como requisito para optar el título de ingeniero electricista, Catalina Isabel Cardozo, Universidad del Valle, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Enero 2013.

ANEXOS

Interfaz Gráfica Desarrollada

Manual de Usuario.

CONTROLES:

Adquisición:

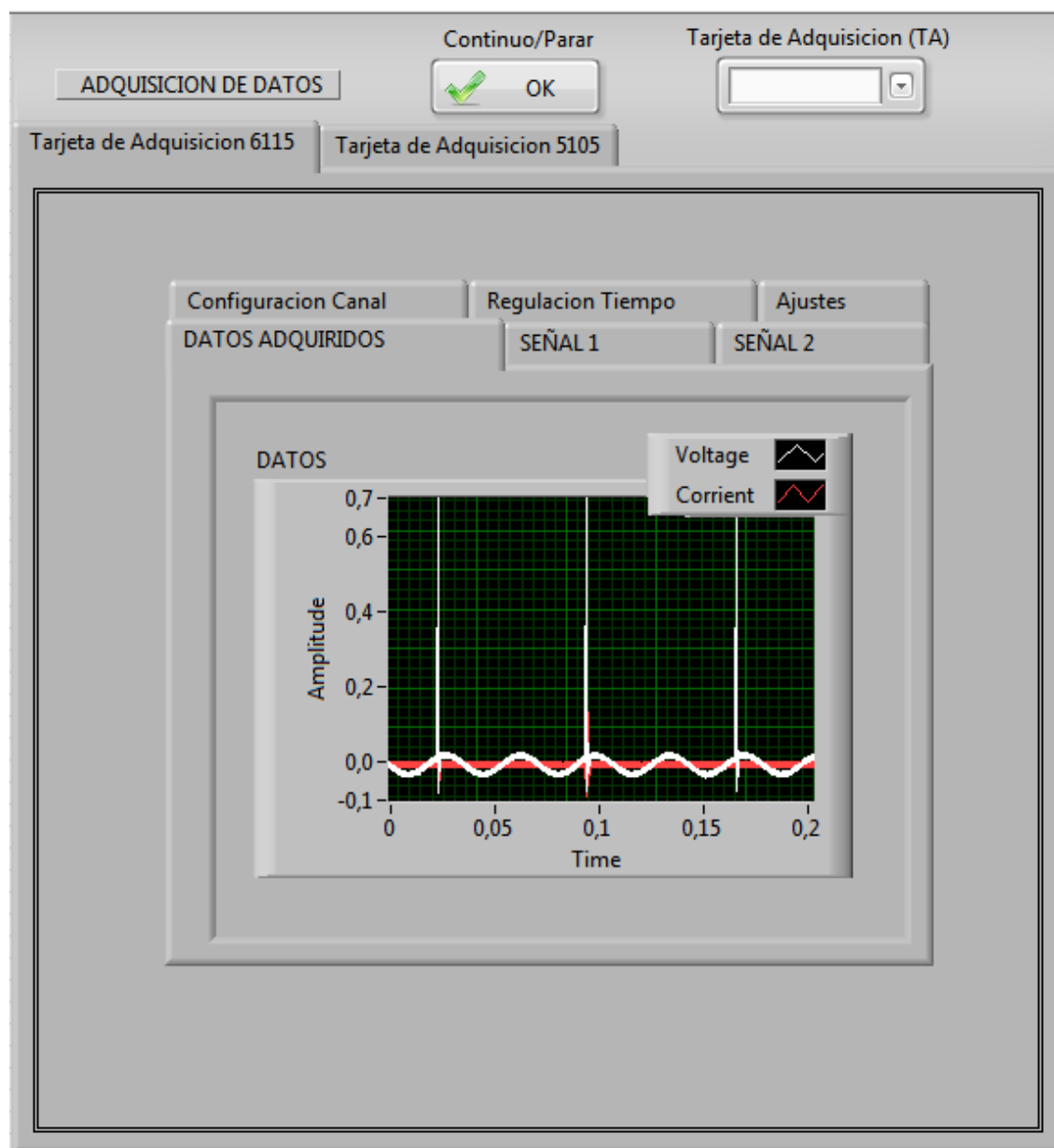


Figura 99. Adquisición configuración tarjeta NI PCI - 6115

Tarjeta de adquisición (TA)

Permite la versatilidad de escoger dos tarjetas de adquisición para el análisis FRA on-line. Las opciones están entre NI PCI - 6115 y NI PCI 5105 en la anterior imagen está desplegada la pestaña para la configuración de los parámetros referentes a la tarjeta de adquisición NI PCI – 6115.

El primer paso para el monitoreo de FRA on-line es definir este parámetro para comenzar con la adquisición de las señales de voltaje y corriente.

Continuo/Parar

Permite una adquisición continua N iteraciones ò una adquisición finita 1 iteración.

Adquisición 6115

En la Figura 99 se muestra el panel frontal para la configuración de la tarjeta de adquisición NI PCI-6115 a continuación se presentan sus controles.

Visualización señales adquiridas.

Pestaña (DATOS ADQUIRIDOS)

En esta ventana se pueden visualizar de manera continua y en tiempo real las señales de corriente y voltaje adquiridas con la tarjeta de adquisición NI PCI-6115, ambas señales están en un mismo plano para visualizar que el pulso inyectado sobre la señal de voltaje está en fase con el pulso resultante sobre la señal de corriente.

Pestaña (SEÑAL 1)

En esta ventana se pueden visualizar de manera continua y en tiempo real en forma independiente la señal de corriente adquirida con la tarjeta de adquisición NI PCI-6115, de una forma más amplia se puede visualizar el pulso resultante sobre la señal.

Pestaña (SEÑAL 2)

En esta ventana se pueden visualizar de manera continua y en tiempo real en forma independiente la señal de voltaje adquirida con la tarjeta de adquisición NI PCI-6115, de una forma más amplia se puede visualizar el pulso inyectado sobre la señal.

Dentro de los parámetros de la tarjeta de adquisición NI PCI-6115 se encuentran los siguientes controles:

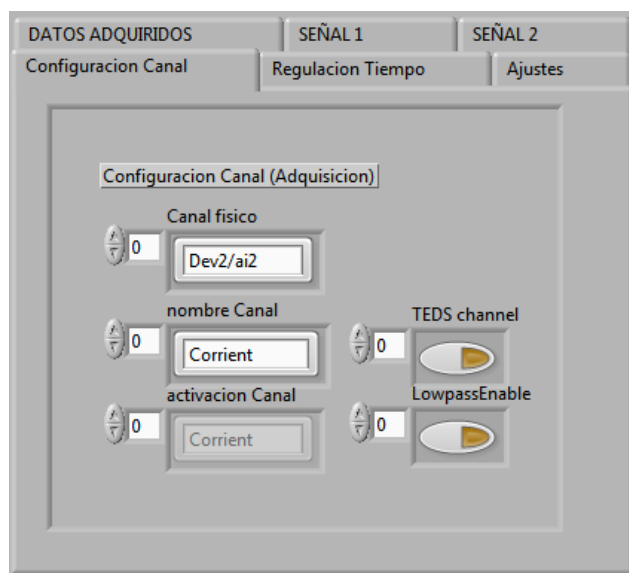


Figura 100. Pestaña Configuración Canal NI PCI - 6115

En la Figura 100 se muestra el panel frontal para la configuración de los canales de la tarjeta NI PCI – 6115.

Canal Físico

Nombre del canal físico determinado por la tarjeta de adquisición NI PCI – 6115.

Nombre Canal

Nombre del canal virtual ligado a la tarjeta de adquisición NI PCI – 6115.

Activación Canal

Nombre del canal a ser activado ligado a la tarjeta de adquisición NI PCI – 6115.

TEDS channel

Activa o desactiva un canal.

LowpassEnable

Activa o desactiva el filtro de un canal.

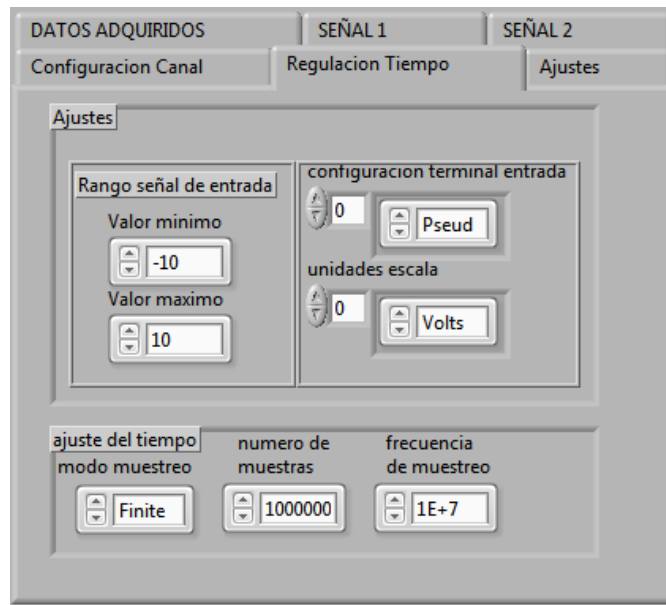


Figura 101. Pestaña Configuración Tiempo NI PCI - 6115

En la Figura 101 se muestra el panel frontal para la configuración del tiempo de los canales de la tarjeta de adquisición NI PCI-6115.

Valor mínimo

Valor mínimo de Rango para una señal de entrada adquirida con la tarjeta de adquisición NI PCI - 6115 para el análisis FRA on - line se recomienda un valor típico de (-10).

Valor máximo

Valor máximo de Rango para una señal de entrada adquirida con la tarjeta de adquisición NI PCI - 6115 para el análisis FRA on - line se recomienda un valor típico de (10).

Configuración terminal de entrada

Parámetro para la creación del canal virtual. El parámetro establecido es recomendado para el correcto análisis FRA on-line para mayor información referirse a la ayuda que proporciona la plataforma LabView.

Unidades escala

Unidades de escala para configurar cada uno de los canales de la tarjeta de adquisición NI PCI – 6115.

Modo muestreo

Opciones para determinar el modo de muestreo durante la adquisición con la tarjeta NI PCI-6115 puede ser en forma continua, finita o dependiente de un punto singular configurado en el hardware. (Para la determinación de la curva FRA on-line se recomienda un modo finito).

Numero de muestras

Numero de muestras a configurar, para un correcto análisis de FRA on-line el rango esta entre (1-1000000) y depende de la frecuencia de muestreo configurada.

Frecuencia de muestreo

Valor de frecuencia de muestreo a configurar valor máximo admisible para la tarjeta de adquisición NI PCI-6115 (10 MS/s) para un correcto análisis FRA on-line este valor depende del número de muestras y la frecuencia F_s para el procesamiento matemático.

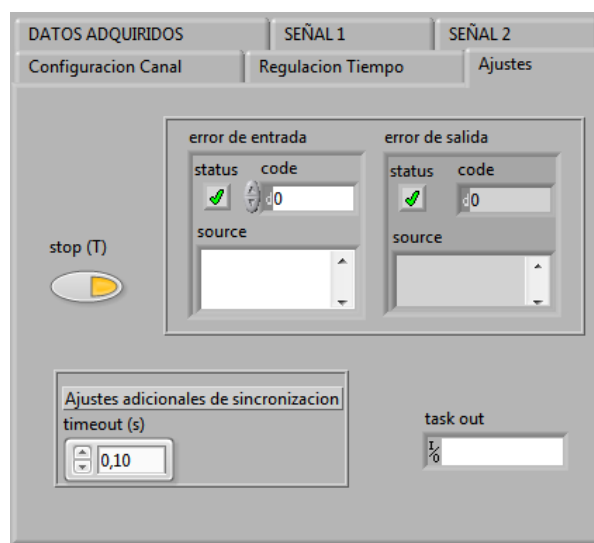


Figura 102. Pestaña ajustes NI PCI - 6115

En la Figura 102 se muestra el panel frontal para los ajustes de la tarjeta de adquisición NI PCI – 6115.

Stop (T)

Detiene o impide la adquisición de datos para la tarjeta NI PCI – 6115

Error de entrada

Describe condiciones de error que ocurren antes de que se corra el VI o una determinada función, El valor por defecto es ningún error. Si un error ocurriera antes de que se corra el VI o la función, los errores del VI o pasos de la función se reportan en el error de salida.

Error de salida

Contiene información de error, Si el error de salida indica que un error ocurrió antes de que se corra el VI o la función, el error de salida contiene la misma información del error de entrada.

Time out (s)

Tiempo a esperar para adquirir los datos, con la tarjeta NI PCI - 6115, para interrupción de adquisición se configura con -1

Unidades: Segundos

Default: 0,1

Task out

Si se crea una lista de canales virtuales, se crea una tarea automáticamente para cada canal.

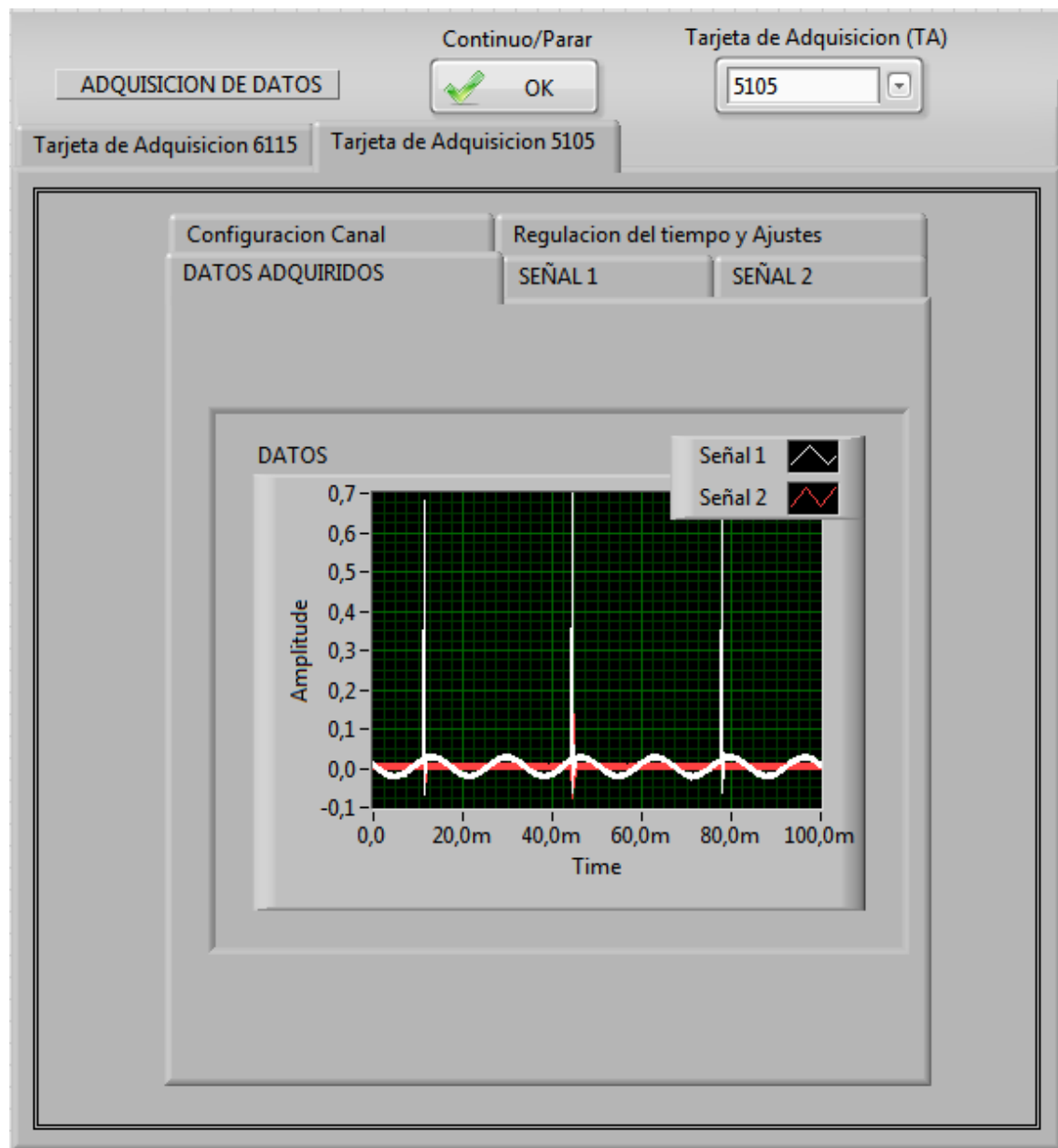


Figura 103 Adquisición configuración tarjeta NI PCI - 5105

Adquisición 5105

En la Figura 103 se muestra el panel frontal para la configuración de la tarjeta de adquisición NI PCI-5105 a continuación se presentan sus controles.

Visualización señales adquiridas.

Pestaña (DATOS ADQUIRIDOS)

En esta ventana se pueden visualizar de manera continua y en tiempo real las señales de corriente y voltaje adquiridas con la tarjeta de adquisición NI PCI-5105, ambas señales están en un mismo plano para visualizar que el pulso inyectado sobre la señal de voltaje está en fase con el pulso resultante sobre la señal de corriente.

Pestaña (SEÑAL 1)

En esta ventana se pueden visualizar de manera continua y en tiempo real en forma independiente la señal de voltaje adquirida con la tarjeta de adquisición NI PCI-5105, de una forma más amplia se puede visualizar el pulso inyectado sobre la señal.

Pestaña (SEÑAL 2)

En esta ventana se pueden visualizar de manera continua y en tiempo real en forma independiente la señal de corriente adquirida con la tarjeta de adquisición NI PCI-5105, de una forma más amplia se puede visualizar el pulso resultante sobre la señal.

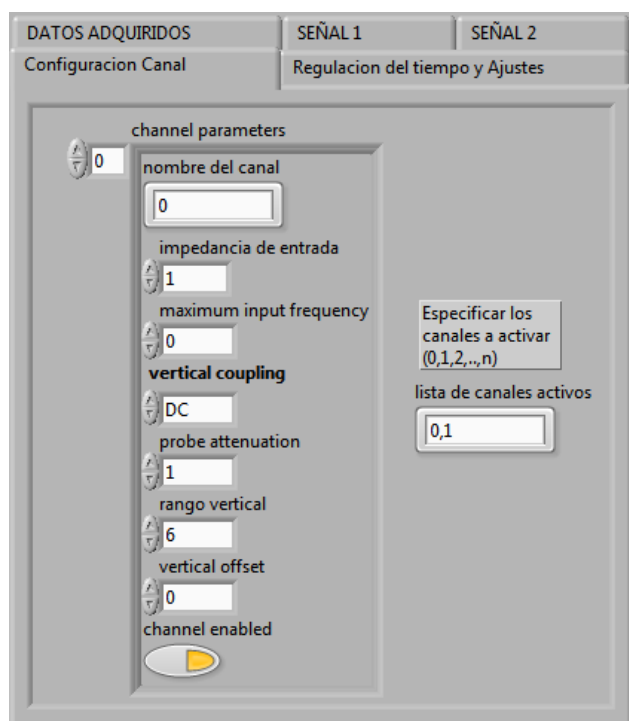


Figura 104 Pestaña Configuración Canal NI PCI - 5105

En la Figura 104 se muestra el panel frontal para la configuración de los canales de la tarjeta NI PCI – 5105.

nombre del canal

Se especifica el nombre del canal virtual.

impedancia de entrada

Impedancia de entrada para el canal. Valor predefinido: 1 mega ohm

Valores definidos

1 mega ohm

50 ohm

Máximum input frequency

Máxima frecuencia de entrada del canal. Valor predefinido: 0.00 Hz

Vertical coupling - probe attenuations – vertical offset

Parámetros ya definidos para el buen funcionamiento del canal a la hora de la adquisición, se recomienda dejar los parámetros default ya programados.

Rango vertical

Valor absoluto de rango vertical de la señal de entrada. Por ejemplo, para adquirir una onda seno que oscila entre –5 y +5 V, el rango vertical será 10.0 V.

Channel enabled

Indica si el canal está habilitado para la adquisición. Valor predefinido para todos los canales: VERDADERO

Lista de canales activos

Se especifican los canales para adquirir datos.



Figura 105. Pestaña Regulacion del tiempo y Ajustes NI PCI - 5105

En la Figura 105 se muestra el panel frontal para la configuración del tiempo y ajustes de los canales de la tarjeta de adquisición NI PCI-5105.

Close(T)

Detiene o impide la adquisición para la tarjeta de adquisición NI PCI - 5105

Error de entrada

Describe condiciones de error que ocurren antes de que se corra el VI o una determinada función, El valor por defecto es ningún error. Si un error ocurriera antes de que se corra el VI o la función, los errores del VI o pasos de la función se reportan en el error de salida.

Error de salida

Contiene información de error, Si el error de salida indica que un error ocurrió antes de que se corra el VI o la función, el error de salida contiene la misma información del error de entrada.

Tiempo máximo

Tiempo a esperar para adquirir los datos, con la tarjeta NI PCI - 5105, para interrupción de adquisición se configura con -1

Unidades: Segundos

Default: 0,1

Modo de muestreo

Opciones para determinar el modo de muestreo durante la adquisición con la tarjeta NI PCI-5105 puede ser en forma continua o finita. (Para la determinación de la curva FRA on-line se recomienda un modo finito o N samples)

Numero de muestras

Numero de muestras a configurar, para un correcto análisis de FRA on-line el rango esta entre (1-6000000) y depende de la frecuencia de muestreo configurada (disponible para NI PCI-5105)

Frecuencia de muestreo

Valor de frecuencia de muestreo a configurar valor máximo admisible para la tarjeta de adquisición NI PCI-5105 (60 MS/s) para un correcto análisis FRA on-line este valor depende del número de muestras y la frecuencia F_s para el procesamiento matemático.

Filtrado

DENOISING

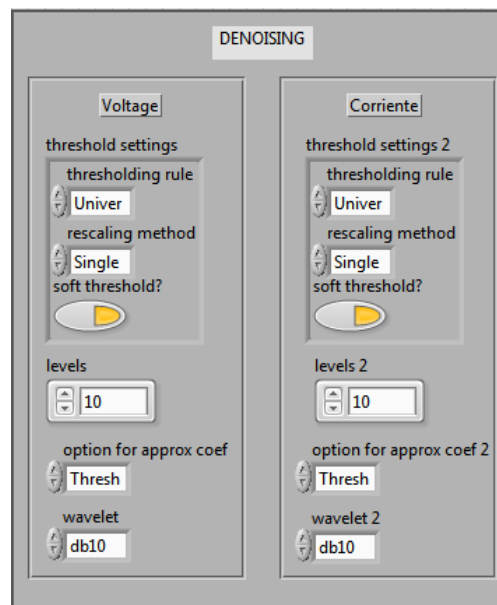


Figura 106. Panel Frontal Filtro Denoising

En la Figura 106 se muestran el panel frontal para configurar los principales parámetros del filtro denoising tanto para la señal de corriente como voltaje independientemente.

Voltaje

Thresholding rule

Especifica las reglas de selección de umbral, en el filtrado para la señal de voltaje

Rescaling method

Especifica el método para usar para estimar la variación del ruido a cada nivel, en el filtrado para la señal de voltaje.

Soft threshold?

Especifica para usar el método del thresholding suave. El valor por defecto es VERDAD que indica que este VI usa el método del thresholding suave. ¿Si el umbral suave? es FALSO, este VI usa el método del thresholding duro. Para la señal de voltaje

Levels

Especifican el número de niveles en el análisis del wavelet discreto. Que implican el filtrado de la señal de voltaje.

Options for approx coef

Especifica el funcionamiento para los coeficientes de la aproximación de la descomposición del wavelet. Que implica el filtrado de la señal de voltaje.

Wavelet

Se especifica el tipo de wavelet a utilizar para el análisis wavelet discreto. El valor predeterminado es Db02. Cuanto mayor es el orden, más suave será la wavelet. Para el análisis FRA se escoge DB10. Que implica el filtrado de la señal de voltaje

Corriente

Thresholding rule

Especifica las reglas de selección de umbral, en el filtrado para la señal de corriente

Rescaling method

Especifica el método para usar para estimar la variación del ruido a cada nivel, en el filtrado para la señal de corriente.

Soft threshold?

Específica para usar el método del thresholding suave. El valor por defecto es VERDAD que indica que este VI usa el método del thresholding suave. ¿Si el umbral suave? es FALSO, este VI usa el método del thresholding duro. Para la señal de corriente

Levels

Especifican el número de niveles en el análisis del wavelet discreto. Que implican el filtrado de la señal de corriente.

Options for approx coef

Especifica el funcionamiento para los coeficientes de la aproximación de la descomposición del wavelet. Que implica el filtrado de la señal de corriente

Wavelet

Se especifica el tipo de wavelet a utilizar para el análisis wavelet discreto. El valor predeterminado es Db02. Cuanto mayor es el orden, más suave será la wavelet. Para el análisis FRA se escoge DB10. Que implica el filtrado de la señal de corriente

Señales Filtradas

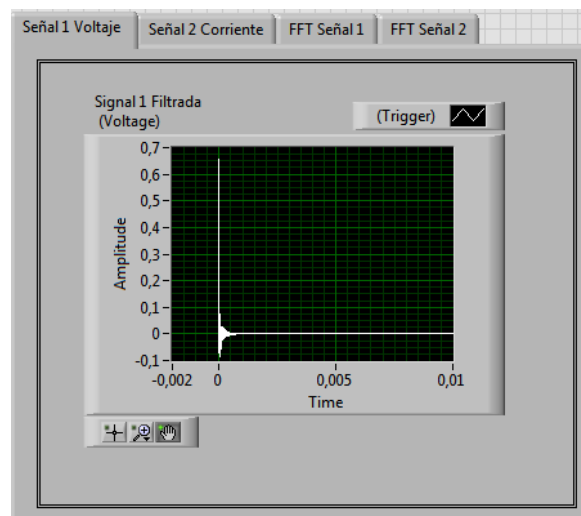


Figura 107. Panel frontal señales filtradas.

En la Figura 107 se muestra el panel frontal donde se pueden visualizar de manera continua las señales ya filtradas además con el procesamiento matemático de la FFT.

Pestaña (Señal 1 Voltaje)

Permite la visualización de la señal de voltaje filtrada y en la ventana especificada por el trigger programado, todo esto en tiempo continuo

Pestaña (Señal 2 Corriente)

Permite la visualización de la señal de corriente filtrada y en la ventana especificada por el trigger programado, todo esto en tiempo continuo

Pestaña (FFT Señal 1)

Permite la visualización de la Transformada de Fourier de la señal de voltaje en tiempo continuo

Pestaña (FFT Señal 2)

Permite la visualización de la Transformada de Fourier de la señal de corriente en tiempo continuo

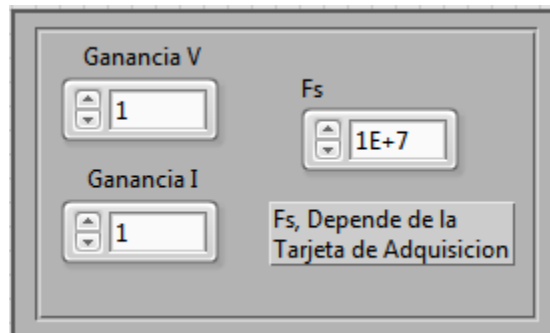


Figura 108. Parámetros adicionales.

En la Figura 108 se presentan algunos controles necesarios para un correcto análisis FRA.

Ganancia V

Permite agregar una constante ante las señales de entrada para tener una respuesta correcta, esto depende de los sensores utilizados a la hora de la adquisición. (Señal de voltaje)

Ganancia I

Permite agregar una constante ante las señales de entrada para tener una respuesta correcta, esto depende de los sensores utilizados a la hora de la adquisición. (Señal de corriente)

Fs

Parámetro ligado al código de programación para el procesamiento matemático, es importante tener en cuenta este parámetro por que debe de coincidir con la frecuencia de muestreo de la tarjeta de adquisición.

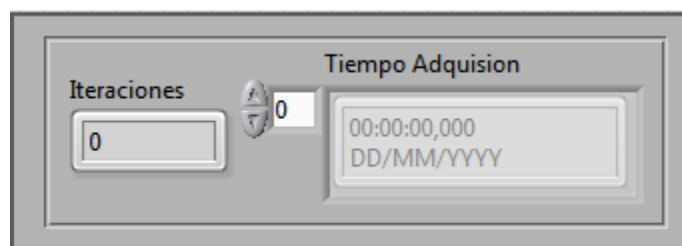


Figura 109. Indicadores de adquisición y procesado

En la Figura 109 se muestra el panel frontal de los indicadores de Iteraciones y tiempo de adquisición.

Iteraciones

Este es un indicador en donde se muestra el número de iteraciones durante el proceso de FRA on-line en tiempo continuo.

Tiempo de adquisición

Muestra el tiempo durante el proceso FRA on-line.

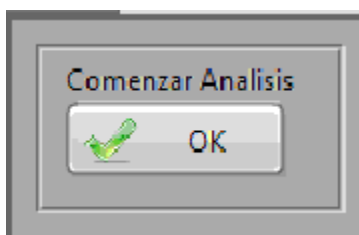


Figura 110 Control Comenzar Análisis

Comenzar Análisis

Permite Aislar la etapa de la adquisición y la etapa del procesamiento matemático para la obtención de la curva FRA, con el objetivo de tener una garantía de unos correctos datos de adquisición. Ver Figura 110

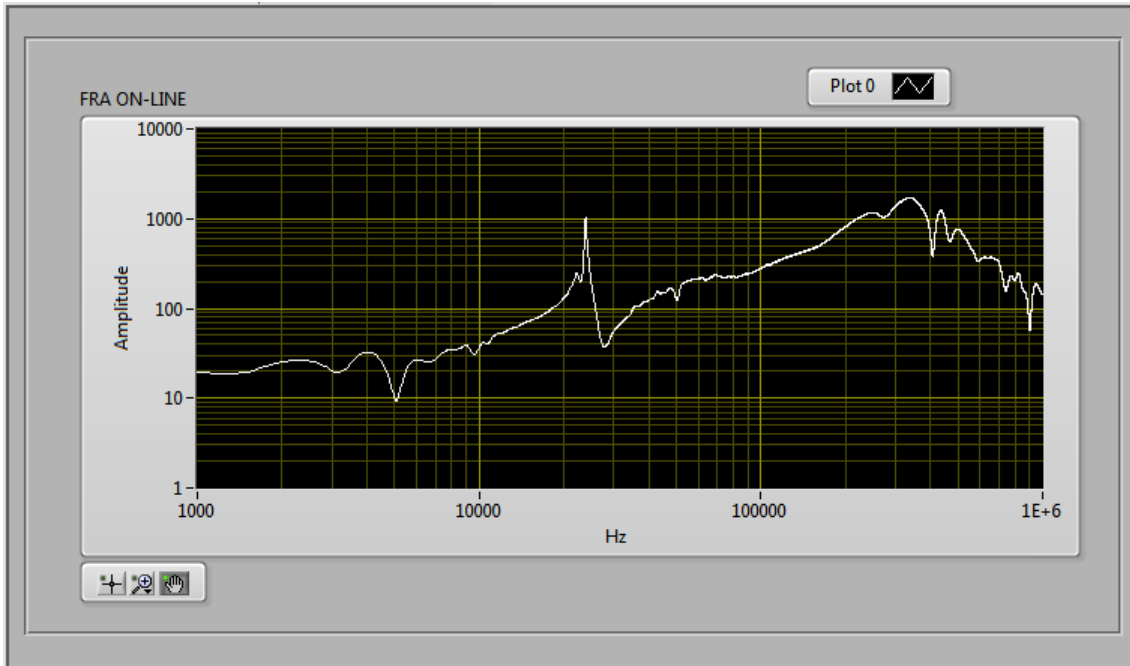


Figura 111 Panel frontal Visualización curva FRA on - line

FRA ON-LINE

Permite la visualización de la curva FRA mediante señales transitorias inyectadas sobre la onda de voltaje de 60 HZ, IFRA. Tiene la versatilidad de exportar los datos a diferentes extensiones para un posterior análisis cualitativo. Ver Figura 111.